

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«МЕТОДЫ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ И НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

К.т.н, доцентом кафедры химии и технологии кристаллов Файковым П.П.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой *химии и технологии кристаллов* РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина «Методы синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области неорганического материаловедения, в частности в области технологии полупроводниковых и диэлектрических кристаллов и других материалов электронной техники.

**Цель дисциплины** – углубление знаний, умений, владений и формирование компетенций в области синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов, используемых в электронной технике, строения нанокompозиционных материалов, взаимосвязей «состав – структура – условия синтеза – свойства» нанокompозиционных материалов, а также знаний, умений и владений в области современных и перспективных нанокompозитов и направлений дальнейшего развития этой области материаловедения.

### **Задачи дисциплины:**

- формирование и совершенствование у студентов магистратуры представления о физических и химических методах синтеза различных материалов с нанокристаллической структурой;
- формирование и совершенствование у студентов магистратуры представления о взаимосвязи между состав, структура и свойствами нанокompозиционных материалов;
- овладение теоретическими и практическими знаниями основных процессов получения наноматериалов, необходимых студентам магистратуры для формирования их профессиональных компетенций

Дисциплина «Методы синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов» преподаётся в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведётся по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
--------------------------------------	---------------------------	-----------------------	---	--

Технологический тип задач профессиональной деятельности				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники	ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой</p>

				<p>электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>F/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	--

				<p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
<p>Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских</p>	<p>ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист</p>

	<p>работ в области химического и химико-технологического производства).</p>			<p>технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Г. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Г/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p>
--	---	--	--	--



				<p>Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	--

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники;
- современные кристаллохимические, термодинамические, структурные представления о строении и свойствах твердых тел как звеньях единой цепи;
- технологические процессы синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники, основы проектирования и практические аспекты исследования их состава, структуры и свойств, области применения;
- основные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники.

*Уметь:*

- проводить анализ научно-технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники;
- формулировать требования к материалам и определять эффективные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов с комплексом заданных свойств для конкретных областей применения;
- проводить экспериментальные исследования состава, структуры и свойств наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники;
- применять теоретические знания по современным и перспективным методам синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники, для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в междисциплинарных областях.

*Владеть:*

- методами работы с научно-технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники;
- методологическими подходами, особенностями синтеза и выявления взаимосвязей состава, структуры, свойств и технологии наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники, обеспечивающими обоснованное принятие решений при разработке новых материалов для различных областей применения;
- методами критического анализа и оценки современных научных достижений, генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники;
- способностью и готовностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники с учетом правил соблюдения авторских прав.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>25,5</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>0,25</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
Лекции	0,25	8	6
Практические занятия (ПЗ)	0,75	26	19,5
в том числе в форме практической подготовки	0,25	8	6
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2</b>	<b>74</b>	<b>55,5</b>
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		73,6	55,2
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Зачет с оценкой</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	в т.ч. в форме пр. подг.	Лекции	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
	<b>Раздел дисциплины</b>						
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Содержание и задачи курса. классификация методов получения наночастиц</b>	<b>6</b>		<b>1,5</b>			<b>4.</b>
1.1	Введение.	2.		0,5.			1.
1.2	Классификация методов получения наночастиц	4.		1,0.			3
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Диспергационные методы получения нанопорошков</b>	<b>12</b>		<b>2</b>	<b>2</b>		<b>8</b>
2.1	Механическое измельчение	3		0,5	0,5.		2
2.2	Механохимический метод	3		0,5.	0,5.		2
2.3	Ультразвуковое диспергирование	3		0,5.	0,5		2
2.4	Распылительная сушка	3		0,5	0,5		2
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Конденсационные методы получения нанопорошков</b>	<b>36</b>	<b>4</b>	<b>1,5</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>24</b>
3.1	Испарение-конденсация	4,5		0,21	1,43		3,43
3.2	Метод «горения»	4,5		0,21	1,43		3,43
3.3	Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС)	4,5		0,21	1,43		3,43
3.4	Глицин-нитратный метод	4,5		0,21	1,43		3,43
3.5	Метод совместного осаждения	4,5		0,21	1,43		3,43

3.6	Золь-гель метод и его разновидности	9		0,21	1,43		3,43
3.7	Метод Печини (цитратный метод)	4,5		0,21	1,43		3,43
<b>4.</b>	<b>Раздел 4. Другие современные методы получения наночастиц</b>	<b>30</b>		<b>1,5</b>	<b>8</b>		<b>20</b>
4.1	Криохимический метод, метод “вымораживания”	2,5		0,125	0,67		1,67
4.2	Гидротермальный метод	2,5		0,125	0,67		1,67
4.3	Гетерофазный синтез в растворе	2,5		0,125	0,67		1,67
4.4	Разложение элементоорганических соединений	2,5		0,125	0,67		1,67
4.5	Плазмохимический метод	2,5		0,125	0,67		1,67
4.6	Электрохимический синтез нанопорошков	2,5		0,125	0,67		1,67
4.7	Электроэрозионный метод	2,5		0,125	0,67		1,67
4.8	Ударно–волновой метод (детонационный синтез)	2,5		0,125	0,67		1,67
4.9	Получение наночастиц методом электровзрыва	2,5		0,125	0,67		1,67
4.10	Метод лазерного испарения	2,5		0,125	0,67		1,67
4.11	Метод гидролиза в пламени	2,5		0,125	0,67		1,67
4.12	Криохимический метод, метод “вымораживания”	2,5		0,125	0,67		1,67
<b>5</b>	<b>Особенности получения нанокomпозиционных материалов</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>1,5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>18</b>
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>74</b>

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **4.2. Содержание разделов дисциплины**

#### **Раздел 1. Введение**

1.1. Содержание и задачи курса «Методы синтеза наночастиц и наноконпозиционных материалов».

Рынок нанотехнологий переживает свое стремительное развитие, о чем свидетельствует рост инвестиций в отрасль, а также количества научных разработок, патентов и публикаций по данной проблематике. Ежегодно наблюдается увеличение числа компаний, представляющих нанотехнологии, а также объем коммерчески реализуемой продукции, изготовленной с применением нанотехнологий. В исследованиях, направленных на получение наноструктурированных материалов и, в частности, оптически прозрачных керамик, основное внимание уделяется получению нанопорошков, их составу, форме и размерам частиц.

Химические методы позволяют изготавливать высокодисперсные порошки, в том числе нанопорошки, стремящиеся понизить свою энергию за счет агрегации. Выбор того или иного метода получения нанопорошков или комбинация различных методов их синтеза позволяют формировать агломераты и даже отдельные частицы с заданными размерами структурой и свойствами, от которых, в конечном итоге, зависят эксплуатационные свойства готового керамического изделия.

#### 1.2. Классификация методов получения наночастиц.

Существует классификация, основанная на природе основного процесса, в результате которого происходит синтез наноматериалов. При таком подходе методы получения наноматериалов можно разделить на механические, физические, химические и биологические.

#### **Раздел 2. Диспергационные методы получения нанопорошков.**

##### 2.1. Механическое измельчение

Механическая энергия, передаваемая твердому телу при измельчении, в первую очередь, расходуется на изменение дисперсности системы и изменение упорядоченности структуры измельчаемого материала. Выбор характера воздействия на твердое тело (количество энергии, скорость и интенсивность ее передачи) позволяет влиять на свойства получаемого продукта.

##### 2.2. Механохимический метод

Механохимический метод занимает промежуточное место между механическими и химическими методами. Основой механосинтеза является механическая обработка твердых смесей исходных компонентов (оксиды, гидроксиды, соли, кислоты), в результате которой происходит измельчение и пластическая деформация веществ, ускоряющие массоперенос, при этом активируется химическое взаимодействие твердых реагентов (фактически происходит твердофазный синтез с образованием сложных оксидов)

##### 2.3. Ультразвуковое диспергирование

Ультразвуковое диспергирование – тонкое размельчение твердых веществ или жидкостей, переход веществ в дисперсное состояние с образованием золя под действием ультразвуковых колебаний. Обычно термином “диспергирование” обозначается измельчение твердых тел в жидкой среде.

##### 2.4. Распылительная сушка

К механическим методам получения можно также отнести распылительную сушку. При распылительной сушке происходит испарение растворителя из высушиваемого продукта. В результате получают сухой порошкообразный или гранулированный продукт.

Высушиваемый продукт с помощью форсунок или вращающихся дисков распыляется (диспергируется) в сушильную камеру. Здесь он контактирует с сушильным

агентом, в роли которого может выступать горячий воздух, газы, образующиеся при сгорании топлива или перегретый пар.

### **Раздел 3. Конденсационные методы получения нанопорошков.**

Химические методы получения порошков обычно являются многостадийными, что затрудняет их классификацию. Их можно классифицировать по среде (жидкость, газ, плазма), в которой происходит основной физико-химический процесс. Наибольшее распространение в технологии функциональной керамики получили методы получения порошков в жидкой фазе, как методы несложные в аппаратном оформлении, не требующие высоких энергозатрат и обеспечивающие получение нанопорошков близких к "идеальным" в достаточном количестве для производства.

#### **3.1. Испарение-конденсация.**

В процессе «испарение - конденсация» жидкие или твердые вещества испаряют при контролируемой температуре в атмосфере инертного газа низкого давления с последующей конденсацией пара в охлаждающей среде или на охлаждающих устройствах.

#### **3.2. Метод «горения»**

Метод основан на термообработке смесей исходных компонентов, взятых в виде соединений, способных легко восстанавливаться, и «горючего», в качестве которого обычно используют такие органические соединения, которые легко окисляются с выделением большого количества тепла и не вносят загрязнений в получаемый продукт (глицин, лимонная кислота, мочевины и др). Пламя при горении является низкотемпературной плазмой. Важной особенностью метода является то, что в процессе сжигания происходит выделение большого количества газообразных продуктов, которые разрыхляют исходные компоненты, позволяя получить нанопорошки.

#### **3.3. Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).**

К методу горения тесно примыкает метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. СВС представляет собой режим протекания сильной экзотермической реакции (реакции горения), в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи.

#### **3.4. Глицин-нитратный метод.**

К одной из разновидностей метода горения можно отнести и глицин-нитратный метод. В этом методе для производства наночастиц оксидов металлов применяют водный раствор глицина и нитрата какого-либо металла. Раствор нагревают, пока избыток воды не выкипает и оставшееся сухое вещество не воспламеняется.

#### **3.5. Метод совместного осаждения.**

Метод соосаждения является одним из самых широко распространенных методов получения нанопорошков. Этим методом обычно получают вещество-предшественник (прекурсор), которое после термической обработки в соответствующей газовой среде, получается в виде порошка необходимого соединения.

#### **3.6. Золь-гель метод и его разновидности.**

Для получения нанопорошков в настоящее время наиболее широко используют золь-гель метод. Золь-гель технология материалов, в том числе, наноматериалов, включает получение золя с последующим переводом его в гель. Гель – коллоидная система, состоящая из жидкой дисперсионной среды, заключенной в пространственную сетку, образованную соединившимися частицами дисперсной фазы. Золь-гель метод можно применять не только для получения нанопорошков, но и пленок, волокон и монолитных изделий, когда из геля формуют заготовку, которую сушат и обжигают.

Существует множество модификаций этого метода, которые обеспечивают синтез керамических порошков, протекающий по одинаковой схеме, состоящей из трех стадий:

раствор хорошо растворимых солей исходных компонентов → (1) → золь → (2) → гель → (3) → оксид.

### 3.7. Метод Печини (цитратный метод)

Этот метод известен как относительно несложный, практичный и недорогой метод синтеза оксидных порошков, в котором полимерный материал, полученный из соли металлов многоосновной карбоновой кислоты и многоатомного спирта, подвергается прокаливанию. Образование полимера происходит в результате реакции этерификации между цитратным комплексом металлов и этиленгликолем.

Подробно рассматриваются варианты алкоксидного, гибридного и полимерного золь-гель метода.

## Раздел 4. Другие современные методы получения наночастиц.

### 4.1. Криохимический метод, метод “вымораживания”.

Метод заключается в быстром замораживании распыленных растворов солей с получением криогранул. Хорошие результаты дали опыты распыления в жидкий азот. Быстрое замораживание приводит к равномерному распределению частиц, т.е. компонентов, приближающемуся к их распределению в исходном растворе.

### 4.2. Гидротермальный метод.

Проведение процесса в сверхкритических условиях, когда исчезает граница между жидкостью и газом и теряет смысл понятие поверхностного натяжения, замедляет агрегацию и рост частиц, но не препятствует совершенствованию их кристаллической структуры.

Жидкости при повышении температуры и давления могут находиться в сверхкритических условиях, когда нет границы между жидкой и газообразной фазой. В таких условиях отсутствует основная причина агрегации – поверхностное натяжение на границе жидкость – газ. При использовании воды и водных растворов солей, кислот и оснований такие методы обычно называют гидротермальными.

### 4.3. Гетерофазный синтез в растворе.

Гетерофазный синтез в жидкой фазе основан на топохимической реакции между твердой фазой и окружающей ее жидкостью. Ультрадисперсный порошок помещают в жидкую фазу, где происходит внедрение ионов из жидкой фазы в твердую или обмен ионами между фазами.

### 4.5. Разложение элементоорганических соединений.

Методы разложения и последующий твердофазный синтез в небрикетируемом состоянии относятся к методам получения керамических порошков, где определяющими являются процессы в твердой фазе.

### 4.6. Плазмохимический метод.

Плазмохимический синтез проводится в специальных плазменных реакторах – плазмотронах. Плазма с температурой 4000 – 8000 К создается внутри реактора путем зажигания высокочастотного газового разряда или электрической дуги в Ar, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и других газах. Иногда в качестве источника энергии используется лазер, теплота химической реакции и т.д.

### 4.7. Электрохимический синтез нанопорошков.

В основе метода лежат многоэлектронные процессы совместного электровыделения металлов и неметаллов из различных расплавов с последующим их взаимодействием на катоде на атомарном уровне. Использование электрического тока позволяет осуществлять процессы, которые в обычных условиях не происходят или идут очень медленно.

### 4.8. Электроэрозионный метод.

Электроэрозионный метод получения порошков осуществляется за счет электроискрового разряда в соответствующей среде и приводит к электроэрозионному диспергированию электродов. Действие плазмы дугового разряда способствует



химическому взаимодействию диспергированного металла с окружающей средой. Микродуги, возникающие между электродами, погруженными в жидкость, вызывают их эрозию.

#### 4.9. Ударно–волновой метод (детонационный синтез).

Это синтез в плазме, образующейся в процессе взрыва. При синтезе взрыв – сильно неравновесный процесс, – как правило, осуществляют в закрытом сосуде – бомбе. При взрыве взрывчатого вещества за время  $0,2 - 5 \cdot 10^{-6}$  с температура достигает  $4000^\circ\text{C}$ , а давление в зависимости от типа устройства ударно–волнового нагружения повышается до 50 ГПа (для плоского), до 80 ГПа (для осесимметричного) и до 1000 ГПа (для сферического).

#### 4.10. Получение наночастиц методом электровзрыва.

Если через проволоку диаметром 0,1 – 1,0 мм за  $10^{-5} \dots 10^{-7}$  с пропустить ток плотностью  $10^4 \dots 10^6$  А/мм<sup>2</sup>, то происходит взрыв и распыление проволоки в наночастицы.

#### 4.11. Метод лазерного испарения.

Метод лазерного испарения вещества, также называемый лазерной абляцией или лазерной искрой, или лазерным парофазным осаждением (ЛПА или PLD — pulsed laser deposition), основан на удалении вещества с поверхности при её лазерном облучении. Метод делится на несколько этапов: испарение материала с мишени, развитие плазменного факела из частиц облучаемого вещества, осаждение наночастиц на подложке.

#### 4.12. Метод гидролиза в пламени.

В данном варианте метода горения летучие соединения (обычно хлориды или карбонилы металлов) распыляют в кислород-водородное пламя. За счет высокотемпературного гидролиза образуются наноразмерные капли расплавленного оксида.

### **Раздел 5. Особенности получения нанокomпозиционных материалов.**

Нанопорошки – это, прежде всего, исходное сырье для получения консолидированных наноструктурных материалов заданной формы и с необходимыми функциональными свойствами, предназначенных для практического использования. Из полученных нанопорошков при добавлении необходимого количества и вида временной технологической связки (ВТС) получают формовочные массы, из которых формуют заготовки требуемой формы и размеров.

Условно технологию получения нанокomпозита можно представить в виде четырех процессов:

- 1). получение слабоагрегированного нанопорошка;
- 2). подготовка формовочной массы (смешивание с другими порошками и добавками (модификаторы, временные технологические связки и т.п.));
- 3). формование максимально плотной и равноплотной заготовки;
- 4). удаление временной технологической связки;
- 5). спекание заготовки;
- 6) окончательная обработка изделия.

Одной из основных проблем в производстве нанокomпозитов является склонность наночастиц к образованию агрегатов различной прочности, что осложняет получение качественного наноструктурированного продукта. Для разрушения агрегатов требуются большие механические усилия и регулирование температурно-временных режимов спекания.

В то же время, условия формования заготовок из нанопорошков в значительной мере определяет пористость и механические свойства получаемых изделий, и, следовательно, к выбору способа формования заготовок из нанопорошков нужно подходить не менее ответственно, чем к способу синтеза исходных нанопорошков.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5
	<b>Знать:</b>					
1	<i>Знать:</i> – современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;	+	+	+	+	+
2	– современные кристаллохимические, термодинамические, структурные представления о строении и свойствах твердых тел как звеньях единой цепи;		+	+	+	+
3	– технологические процессы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, основы проектирования и практические аспекты исследования их состава, структуры и свойств, области применения;			+	+	+
4	– основные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники.				+	+
	<b>Уметь:</b>					
5	– ... проводить анализ научно-технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;	+	+	+	+	+
4	– ... формулировать требования к материалам и определять эффективные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов с комплексом заданных свойств для конкретных областей применения;		+	+	+	+
5	– проводить экспериментальные исследования состава, структуры и свойств наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;			+	+	+
6	– применять теоретические знания по современным и перспективным методам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в междисциплинарных областях.			+	+	+
	<b>Владеть:</b>					
7	– методами работы с научно-технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;	+	+	+	+	+

8	– методологическими подходами, особенностями синтеза и выявления взаимосвязей состава, структуры, свойств и технологии наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, обеспечивающими обоснованное принятие решений при разработке новых материалов для различных областей применения;		+	+	+	+
9	– методами критического анализа и оценки современных научных достижений, генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;			+	+	+
10	– способностью и готовностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники с учетом правил соблюдения авторских прав.			+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения</u> :						
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>				
11	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники	ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами			+	+
12	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	+	+	+	+
13		ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники	+	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Классификация методов получения наночастиц	5
2	2	Ультразвуковое диспергирование	5
3	3	Золь-гель метод и его разновидности	5
4	4	Гетерофазный синтез в жидкой фазе	5
5	5	Особенности формования композитов	6

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам курса;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче **зачета** (\_3 семестр)

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов), и итогового контроля в форме **зачета с оценкой** (максимальная оценка 40баллов).

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 4 контрольных работы. Максимальная оценка за контрольные работы 60 (3 семестр) составляет 20 баллов за каждую.

Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе **Примеры вопросов к контрольной работе № 1.** Максимальная оценка **20** баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

#### Вопрос 1.1.

1. Классификация методов получения наночастиц
2. Классификация нанопорошков по размерам, определение - наночастица

**Вопрос 1.2.**

- 1 Деление методов по принципу изменения размера частиц в ходе синтеза
2. Технологии получения нанопорошков основанные на физических процессах.

**Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2.** Максимальная оценка 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

**Вопрос 2.1.**

1. Принципы механоактивации
2. Особенности механизма измельчения в современных лабораторных вибро- и планетарных мельницах

**Вопрос 2.2.**

- 1 Особенности ультразвукового диспергирования
2. Традиционная распылительная сушка

**Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3.** Максимальная оценка 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

**Вопрос 3.1.**

1. Золь-гель метод, основные модификации
2. Особенности метода "горения"

**Вопрос 3.2.**

- 1 Преимущества метода совместного осаждения
2. Отличия метода Печини от традиционной золь-гель технологии

**Раздел 4. Примеры вопросов к контрольной работе № 4.** Максимальная оценка 25 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 12,5 баллов за вопрос.

**Вопрос 4.1.**

1. Применение лазерных технологий для синтеза наноматериалов
2. Детонационный синтез и электровзрыв

**Вопрос 4.2.**

- 1 Плазмохимический синтез
2. Основные стадии спекания керамических нанокомпозитов

## 8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – вид зачет с оценкой).

Билет включает контрольные вопросы по разделам 1,2,3,4 и 5 рабочей программы дисциплины и содержит \_2\_ вопроса. 1 вопрос – \_20\_ баллов, вопрос 2 – \_20\_ баллов.

1. Золь-гель метод, основные модификации.
2. Термическое разложение и восстановление
3. Плазмохимический синтез
4. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез
5. Детонационный синтез и электровзрыв
6. Принципы механоактивации
7. Особенности механизма измельчения в современных лабораторных вибро- и планетарных мельницах
8. Электролитическое осаждение
9. Физическое осаждение из газовой фазы
10. Отличия метода Печини от традиционной золь-гель технологии
11. Кавитационный механизм ультразвукового диспергирования
12. Преимущества метода совместного осаждения
13. Основные стадии спекания керамических нанокompозитов
14. Классификация нанопорошков по размерам, определение - наночастица.
15. Технологии получения нанопорошков основанные на физических процессах
16. Особенности компактирования нанопорошков
17. Применение лазерных технологий для синтеза наноматериалов
18. Синтез наночастиц в сверхкритических условиях
19. Деление методов по принципу изменения размера частиц в ходе синтеза
20. Особенности ультразвукового диспергирования.
21. Традиционная распылительная сушка.
22. Особенности метода "горения"

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

### 8.3. Структура и примеры билетов для зачета с оценкой (3 семестр).

**Зачет с оценкой** по дисциплине «Методы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам 2,3,4 и 5 рабочей программы дисциплины. Билет для **зачета с оценкой** состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **зачета с оценкой**

<p>«Утверждаю» Руководитель программы _____ И.Х. Аветисов (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г..</p>	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра химии и технологии кристаллов
	Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология Магистерская программа – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»
	Методы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов
<p align="center"><b>Билет № _</b></p> <p>1. Вопрос Отличия метода Печини от традиционной золь-гель технологии</p> <p>2. Вопрос Основные виды наполнителей композиционных материалов</p>	

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. Современные методы получения оксидных нанопорошков и наноструктурированной керамики / М. В. Калинина, Н. Ю. Федоренко, Т. Л. Симоненко, О. А. Шилова ; Под ред.: Шилова О. А.. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 72 с. — ISBN 978-5-507-44813-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/266654> (дата обращения: 01.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Б. Дополнительная:

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М. : "Физматлит", 2009. - 414 с. :
2. Беляков А. В. Методы получения наноразмерных порошков из неорганических неметаллических материалов: учеб. Пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2011. 192 с.
3. Наноматериалы и нанотехнологии/ под ред. В. Е. Борисенко и Н. К. Толочко. Минск: Изд. центр БГУ, 2008. 375 с.
4. Беляков А. В., Жариков Е. В., Малыгин А. А. Химические основы нанотехнологии твердофазных материалов различного функционального назначения: учеб. пособие. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006. 103 с.

### 9.2 Рекомендуемые источники научно-технической информации

Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Научно-технические журналы:
  - European Journal of Inorganic Chemistry Print ISSN: 1434-1948, Online ISSN: 1099-0682
  - «Перспективные материалы» ISSN PRINT: 2075-1133, ISSN ONLINE: 2075-115X
  - Journal of Crystal Growth ISSN 0022-0248
  - Crystal Research and Technology Print ISSN: Previously 0232-1300 Online ISSN: 1521-4079
  - «Журнал неорганической химии» ISSN (PRINT): 0044-457X
  - Journal of Non-Crystalline Solids. ISSN: 0022-3093
  - Ресурсы ELSEVIER: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

#### *Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:*

- Сайт о нанотехнологиях в России [Электронный ресурс]: [www.nanoware.ru](http://www.nanoware.ru)
- Нанотехнологическое сообщество [Электронный ресурс]: [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)
- Интернет-журнал о нанотехнологиях. [Электронный ресурс]: [www.nanodigest.ru](http://www.nanodigest.ru)

### 9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных лекций и практических занятий – 18;
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 22).



## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам. Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «*Методы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов*» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Модели молекул и кристаллов для демонстрации типов колебаний при составлении колебательного представления в методах спектроскопии КР и ИК.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

#### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> <b>Содержание и задачи курса. классификация методов получения наночастиц</b>	<i>Знает:</i> – современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники; <i>Умеет:</i> – проводить анализ научно-технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники <i>Владеет:</i> – методами работы с научно-технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники;	Оценка за контрольную работу №1 (3 семестр)  Оценка за <i>зачет</i> (3 семестр)
<b>Раздел 2.</b> <b>Диспергационные методы получения нанопорошков</b>	<i>Знает:</i> – современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокompозиционных материалов для электроники; – современные кристаллохимические, термодинамические, структурные представления о строении и свойствах твердых тел как звеньях единой цепи <i>Умеет:</i>	Оценка за контрольную работу №1 (3 семестр)  Оценка за <i>зачет</i> (3 семестр)

	<p>– проводить анализ научно-технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</p> <p>– формулировать требования к материалам и определять эффективные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов с комплексом заданных свойств для конкретных областей применения</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– методами работы с научно-технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</p> <p>– методологическими подходами, особенностями синтеза и выявления взаимосвязей состава, структуры, свойств и технологии наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, обеспечивающими обоснованное принятие решений при разработке новых материалов для различных областей применения;</p>	
<p><b>Раздел 3.</b></p> <p><b>Конденсационные методы получения нанопорошков</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <p>– современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</p> <p>– современные кристаллохимические, термодинамические, структурные представления о строении и свойствах твердых тел как звеньях единой цепи;</p> <p>– технологические процессы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, основы проектирования и практические аспекты исследования их состава, структуры и свойств, области применения;</p> <p><i>Умеет:</i></p> <p>– проводить анализ научно-</p>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (3 семестр)</p>

	<p>технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– формулировать требования к материалам и определять эффективные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов с комплексом заданных свойств для конкретных областей применения</li> <li>– проводить экспериментальные исследования состава, структуры и свойств наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</li> <li>– применять теоретические знания по современным и перспективным методам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в междисциплинарных областях.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами работы с научно-технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</li> <li>– методологическими подходами, особенностями синтеза и выявления взаимосвязей состава, структуры, свойств и технологии наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, обеспечивающими обоснованное принятие решений при разработке новых материалов для различных областей применения;</li> <li>– методами критического анализа и оценки современных научных достижений, генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</li> <li>– способностью и готовностью к</li> </ul>	
--	---	--

	разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники с учетом правил соблюдения авторских прав.	
<b>Раздел 4. Другие современные методы получения наночастиц</b>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</li> <li>– современные кристаллохимические, термодинамические, структурные представления о строении и свойствах твердых тел как звеньев единой цепи;</li> <li>– технологические процессы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, основы проектирования и практические аспекты исследования их состава, структуры и свойств, области применения;</li> <li>– основные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проводить анализ научно-технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</li> <li>– формулировать требования к материалам и определять эффективные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов с комплексом заданных свойств для конкретных областей применения</li> <li>– проводить экспериментальные исследования состава, структуры и свойств наночастиц и</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <b>зачет</b> (3 семестр)</p>

	<p>нанокомпозиционных материалов для электроники;</p> <p>– применять теоретические знания по современным и перспективным методам синтеза наночастиц и нанокомпозиционных материалов для электроники, для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– методами работы с научно-технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокомпозиционных материалов для электроники;</p> <p>– методологическими подходами, особенностями синтеза и выявления взаимосвязей состава, структуры, свойств и технологии наночастиц и нанокомпозиционных материалов для электроники, обеспечивающими обоснованное принятие решений при разработке новых материалов для различных областей применения;</p> <p>– методами критического анализа и оценки современных научных достижений, генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области синтеза наночастиц и нанокомпозиционных материалов для электроники;</p> <p>– способностью и готовностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области синтеза наночастиц и нанокомпозиционных материалов для электроники с учетом правил соблюдения авторских прав.</p> <p>–</p>	
--	--	--

<p><b>Раздел 5.</b> <b>Особенности получения нанокomпозиционных материалов</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные научные достижения и перспективные направления работ в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</li> <li>– современные кристаллохимические, термодинамические, структурные представления о строении и свойствах твердых тел как звеньях единой цепи;</li> <li>– технологические процессы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, основы проектирования и практические аспекты исследования их состава, структуры и свойств, области применения;</li> <li>– основные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проводить анализ научно-технической литературы в области современных и перспективных методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники</li> <li>– формулировать требования к материалам и определять эффективные пути создания новых методов синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов с комплексом заданных свойств для конкретных областей применения</li> <li>– проводить экспериментальные исследования состава, структуры и свойств наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</li> <li>– применять теоретические знания по современным и перспективным методам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в междисциплинарных областях.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами работы с научно-</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (3 семестр) Оценка за зачет</p>
--	--	--

	<p>технической, справочной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</p> <p>– методологическими подходами, особенностями синтеза и выявления взаимосвязей состава, структуры, свойств и технологии наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники, обеспечивающими обоснованное принятие решений при разработке новых материалов для различных областей применения;</p> <p>– методами критического анализа и оценки современных научных достижений, генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники;</p> <p>– способностью и готовностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов для электроники с учетом правил соблюдения авторских прав.</p>	
--	--	--



### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Методы синтеза наночастиц и нанокomпозиционных материалов»**

**основной образовательной программы  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Монокристаллы для фотоники и электроники»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

К.т.н., доцентом кафедры химии и технологии кристаллов, К.А.Субботиным

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 18.04.01.Химическая технология, магистерская программа: Технология функциональных материалов электроники и фотоники рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение трех семестров.

Дисциплина «Монокристаллы для фотоники и электроники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, к дисциплинам по выбору учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области различных областей физики (оптики, включая кристаллооптику, термодинамики, электро- и магнитодинамики, физической электроники, физики твердого тела, кристаллографии, квантовой механики) и химии (неорганической химии, аналитической химии, в частности, физико-химических методов исследования материалов, а также физической химии, в частности, физической химии реального кристалла, фазовых диаграмм многокомпонентных систем, теории роста кристаллов, современных методов и оборудования для выращивания кристаллов).

**Цель дисциплины** – получение магистрантами компетенций в области технологий производства, а также основных свойств и сфер применения важнейших современных полупроводниковых, функциональных, лазерных и нелинейно-оптических монокристаллов, а также оптических волокон, применяемых или имеющих реальные перспективы применения в фотонике и электронике.

### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся системных теоретических знаний и компетенций в области производства, свойств и применений важнейших современных полупроводниковых, функциональных, лазерных и нелинейно-оптических монокристаллов, применяемых в фотонике и электронике;

- формирование у обучающихся практических навыков по выращиванию монокристаллов различными современными методами;

- ознакомление обучающихся с русско-и англоязычной специальной терминологией, используемой в соответствующих областях науки и техники.

Дисциплина «*Монокристаллы для фотоники и электроники*» преподается в 1, 2 и 3 семестрах. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-2 Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	ПК-2.3 Владеет навыками соотнесения результатов собственной научной работы с отечественным и зарубежным опытом по тематике исследования	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.
		ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники  ПК-4.2 Умеет подбирать материалы	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда,

			<p>для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами -</p> <p>ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и наноэлектроники с заданными свойствами</p>	<p>обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Г. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Г/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки</p>
--	--	--	--	---

				<p>(уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>А. Разработка конструкции и технологии изготовления новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства</p>
--	--	--	--	---



				приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов (уровень квалификации – 7).
		ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники	<p>ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники -</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p>

				<p>Г. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Г/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>А. Разработка конструкции и технологии изготовления новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области</p>
--	--	--	--	--

				<p>разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	--

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- Важнейшие современные полупроводниковые, функциональные, лазерные и нелинейно-оптические монокристаллы, а также основные типы оптических волокон, их основные свойства, технологию производства и сферы применения;
- Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных монокристаллических и волоконно-оптических материалов для квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики;

*Уметь:*

- грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик монокристаллических материалов, относящихся к различным классам химических веществ и соединений, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований;
- правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе – критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;
- подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов.

*Владеть:*

- основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост кристаллов, квантовая электроника, волоконная и нелинейная оптика;
- навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, росту кристаллов, квантовой электронике, волоконной и нелинейной оптике, по соответствующим разделам химии, физики и физической химии твердого состояния, физической электроники. Быть способным выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения конкретной тематики исследования моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения.
- навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиков и технического персонала) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего		Семестр					
			1 семестр		2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>12</b>	<b>432</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>6</b>	<b>216</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>6</b>	<b>221</b>	<b>1.5</b>	<b>51</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>3.5</b>	<b>136</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	0,5	17					0,5	17
Лекции	2	67	0.5	17	0.5	16	1	34
Практические занятия (ПЗ)	2.5	86	1	34	0.5	18	1	34
Лабораторные работы (ЛР)	2	68	0	0	0	0	2	68
в том числе в форме практической подготовки	0,5	17					0,5	17
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4</b>	<b>139</b>	<b>1,5</b>	<b>57</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>1,5</b>	<b>44</b>
Контактная самостоятельная работа		0,4		0,4		-		-
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		138,6		56,6		38		44
<b>Виды контроля:</b>								
<b>Зач. с оценкой</b>			+					
<b>Экзамен</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>1</b>	<b>36</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация		0,8			1	0,4		0,4
<b>Вид итогового контроля:</b>			<b>Зач. с оценкой</b>		<b>Экзамен</b>		<b>Экзамен</b>	

Вид учебной работы	Всего		Семестр					
			1 семестр		2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>12</b>	<b>324</b>	<b>3</b>	<b>81</b>	<b>3</b>	<b>81</b>	<b>6</b>	<b>162</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>6</b>	<b>165,8</b>	<b>1,5</b>	<b>38,3</b>	<b>1</b>	<b>25,5</b>	<b>3,5</b>	<b>102</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	0,5	12,8					0,5	12,8
Лекции								
Практические занятия (ПЗ)								
Лабораторные работы (ЛР)								
в том числе в форме практической подготовки								
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4</b>	<b>104,3</b>	<b>1,5</b>	<b>42,8</b>	<b>1</b>	<b>28,5</b>	<b>1,5</b>	<b>33</b>
Контактная самостоятельная работа		0,3		0,3				
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		104		41,5		28,5		33
<b>Виды контроля:</b>								
<b>Зач. с оценкой</b>			+					
<b>Экзамен</b>	<b>2</b>	<b>54</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>27</b>

Контактная работа – промежуточная аттестация					1	0,3	1	0,3
Подготовка к экзамену.						26,7		26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>			<b>Зач. с оценкой</b>		<b>Экзамен</b>		<b>Экзамен</b>	

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	в т.ч. в форме пр. подг.	Лекции	Прак. зан.	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Важнейшие монокристаллы полупроводников, их свойства, методы получения и сферы применения</b>	<b>60</b>	<b>9</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>24</b>
1.1	Кремний			2	4	8	1	8
1.2	Карбид кремния			2	-	-	1	1
1.3	Алмаз			2		-	1	1
1.4.	Арсенид галлия			2	2	-	1	4
1.5.	Нитрид галлия			2	2	-	1	4
1.6.	Прочие полупроводники типа $A^{III}B^V$			2	-	-	1	1
1.7.	Селенид цинка, номинально-чистый и легированный хромом и железом			2	2	-	1	2
1.8.	Прочие полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$			2	-	6	1	1
1.9.	Обзор прочих полупроводников			2	-	4	1	2
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Важнейшие функциональные монокристаллы, их свойства, методы получения и сферы применения</b>	<b>60</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>24</b>
2.1	Лейкосапфир			2	4	9	4	12
2.2	Фианит и ЧСЦ			2	5	9	4	12

<b>3.</b>	<b>Раздел 2. Важнейшие оксидные лазерные и рамановские монокристаллы, их свойства, методы получения и сферы применения</b>	<b>60</b>		<b>18</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>24</b>
3.1	Иттрий-алюминиевый гранат и иттрий-алюминиевый перовскит			2	4	-	-	4
3.2	Ванадаты			2	2	-	-	2
3.3	Сексвиоксиды			2	1	-	-	2
3.4	Кристаллы со структурой апатита			2	1	-	-	2
3.5	Разупорядоченные боросиликаты			2	1	-	-	2
3.6	Моноклинные и тетрагональные вольфраматы и молибдаты			2	4	-	-	4
3.7	Титан-сапфир			2	1	-	-	2
3.8	Оксидные кристаллы, легированные ионами хрома			2	4	-	-	4
3.9.	Важнейшие кристаллы для пассивных лазерных затворов			2	2	-	-	2
<b>4.</b>	<b>Важнейшие лазерные кристаллы фторидов</b>	<b>40</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>19</b>
	Общие особенности кристаллов фторидов			1	2	2	-	4
	кристаллы со структурой флюорита			1	2	1	-	4
	Кристаллы фторидов со структурой шеелита			1	2	1	-	4



	кристаллы со структурой кальквирита			1	2	1	-	4
	Кристаллы фторида лития с центрами окраски			-	4	4	-	3
<b>5.</b>	<b>Пьезо- и сегнетоэлектрики, нелинейно-оптические кристаллы</b>	<b>30</b>		<b>14</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>18</b>
5.1	Кварц			2	2	2	-	4
5.2	Лангаситы			2	1	1	-	2
5.3	Ниобат и танталат лития			2	2	1	-	4
5.4	Титанил-фосфат калия			2	2	2	-	2
5.5	$\beta$ -борат бария			2	2	1	-	2
5.6	Триборат лития			2	2	1	-	2
5.7	Водорастворимые фосфаты			2	1	1	-	2
<b>6.</b>	<b>Магнитные и магнитооптические кристаллы</b>	<b>6</b>		<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>2</b>
6.1.	Ферриты и железо-содержащие гранаты			1	1	-	-	1
6.2.	Кристаллы для фарадеевских вращателей			1	1	-	-	1
<b>7.</b>	<b>Сцинтилляционные кристаллы</b>	<b>42</b>		<b>3</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>18</b>
	Основы сцинтилляции			1	1	1	-	4
	Щелочно-галлоидные кристаллы				3	1	-	2
	Селенид цинка			1	1	1	-	2
	Германат висмута				1	1	-	2
	Вольфрамат кадмия				2	1	-	2
	Силикат лютеция с церием				2	1	-	2
	Гранаты с церием				3	1	-	2
	Фторид церия			1	1	-	-	2
<b>8.</b>	<b>Волоконно-оптические материалы</b>	<b>30</b>		<b>4</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>10</b>

	Изготовление заготовок методами «порошок в трубе», вертикального осевого и наружного осаждения			1	2	2	-	4
	Изготовление заготовок методами модифицированного химического парофазного осаждения			1	2	2	-	2
	Вытягивание кварцевого волокна из заготовки			1	2	2	-	2
	Обзор специальных, в том числе, монокристаллических волокон			1	2	1	-	2
	<b>ИТОГО</b>	378	17	67	87	68	17	139
	<b>Экзамен</b>	72						
	<b>ИТОГО</b>	432						

## 4.2 Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Важнейшие монокристаллы полупроводников, их свойства, методы получения и сферы применения

#### 1.1. Кремний, Si

Кристаллическая структура Si. Физико-химические и электрофизические свойства кремния. Важность и методы глубокой очистки шихты для выращивания монокристаллов кремния. Важнейшие методы выращивания монокристаллов кремния. Сравнение. Сферы применения кристаллов кремния, выращенных различными методами. Послеростовая механическая обработка выращенных буль. Характерные дефекты в монокристаллах кремния, методы их диагностики и влияние на свойства кристаллов. Важнейшие примеси в кремнии. Управление типом проводимости и создание p-n переходов в кристалле. Фотолитография. Технология мульткристаллического кремния. Его применение.

#### 1.2. Карбид кремния, SiC

Кристаллическая структура SiC. Понятие политипов, важнейшие политипы карбида кремния, их физико-химические и электрофизические свойства. Преимущества и недостатки SiC по сравнению с кремнием. Фазовая диаграмма SiC. Основные методы синтеза шихты и получения моно- и поликристаллического SiC различной степени примесной чистоты. Достигнутые показатели качества монокристаллов и характерные дефекты. Реализованные и перспективные области применения моно- и поликристаллов SiC.

#### 1.3. Алмаз, C

Кристаллическая структура, уникальные физико-химические и электрофизические свойства кристалла, сферы применения. Физическая классификация природных алмазов. Важнейшие собственные и примесные центры окраски и методы окрашивания природных алмазов. Фазовая P-T диаграмма углерода. Основные методы получения поли- и монокристаллов искусственных алмазов: взрывные методы, химическое парофазное осаждение, выращивание из раствор-расплава.

#### 1.4. Полупроводники типа $A^{III}B^V$

Важнейшие физико-химические и электрофизические свойства полупроводников типа  $A^{III}B^V$ . Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Структура сфалерита и вюрцита, их взаимосвязь. Зависимость упругости паров компонента  $B^V$  от его атомного номера при температуре плавления полупроводника. Зависимость температуры плавления и ширины запрещенной зоны кристалла полупроводника от атомных номеров его компонентов. Зависимость подвижности электронов в кристалле полупроводника от атомного номера компонента  $A^{III}$ . Реализованные и перспективные области применения полупроводников типа  $A^{III}B^V$ . Монокристалл InSb как пример полупроводника  $A^{III}B^V$ . Свойства, выращивание, применение.

#### 1.5. Арсенид галлия, GaAs

Структура, физико-химические и электрофизические свойства кристалла. Особенности зонной структуры GaAs. Локальный уровень EL-2 растворенный углерод, их значение с точки зрения получения полуизолирующего GaAs. Долины зоны проводимости GaAs и их значение для применения GaAs в качестве диодов

Ганна. Легирующие примеси и типы проводимости кристаллов. Фазовая диаграмма GaAs. Ретроградная растворимость. Селективная летучесть мышьяка из расплава при температуре плавления. Методы борьбы с этими проблемами. Методы синтеза шихты и выращивания кристаллов GaAs, сравнительный анализ. Области применения кристалла.

#### 1.6. Нитрид галлия, GaN

Основные свойства и важнейшие сферы применения нитрида галлия и твердых растворов на его основе. Исторические вехи становления GaN как материала полупроводниковых светоизлучающих приборов. Основные сложности в получении объемных монокристаллов GaN. Важнейшие методы получения таких кристаллов: гидридная эпитаксия из паровой фазы, вертикальная направленная кристаллизация из раствора в расплаве с затравкой и без нее, аммонотермальный метод. Преимущества и недостатки этих методов, достигнутые на сегодняшний день результаты. Проблемы управления типом проводимости GaN. Получение эпитаксиальных пленок GaN. Используемые подложки. Проблема согласования параметров пленки GaN и подложек.

#### 1.7. Полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$

Важнейшие физико-химические и электрофизические свойства полупроводников типа  $A^{II}B^{VI}$ . Сходства и различия между ними и полупроводниками  $A^{III}B^V$ . Зависимость свойств и методов выращивания полупроводников типа  $A^{II}B^{VI}$  от атомных номеров компонентов этих кристаллов. Реализованные и перспективные области применения полупроводников типа  $A^{II}B^{VI}$ . Монокристаллы ZnS, а также CdTe и твердые растворы на его основе как примеры полупроводников  $A^{III}B^V$ . Свойства, получение, применение.

#### 1.8. Селенид цинка, ZnSe

ZnSe как материал для оптики дальнего ИК-диапазона, люминофоров, сцинтилляторов и лазерных матриц. Оптические, физико-химические и электрофизические свойства и допуски по оптическому качеству. Основные методы получения ZnSe в виде монокристаллов и оптической керамики: ВНК и сублимация-кристаллизация на затравку; горячее прессование, физическое и химическое парофазное осаждение: преимущества и недостатки. Проблемы легирования кристаллов ZnSe хромом и железом.

### **Раздел 2. Важнейшие функциональные монокристаллы, их свойства, методы получения и сферы применения**

#### 2.1. Лейкосапфир, $Al_2O_3$

Кристаллическая структура, физико-химические свойства, области применения. Важнейшие методы выращивания кристаллов: метод Киропулоса, Багдасарова и Степанова, преимущества и недостатки, характерные дефекты. Проблемы выращивания профилированных монокристаллов в форме полусферы. Особенности послеростовой механической обработки кристаллов.

## 2.2. Фианит и частично-стабилизированный диоксид циркония (ЧСЦ), $\text{ZrO}_2\text{:Ln}_2\text{O}_3$

Структура кристалла, уникальные механические прочностные, оптические и иные физико-химические свойства фианита и ЧСЦ. Фазовая диаграмма системы  $\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$ . Суб-солидусные полиморфные переходы, проблемы полной и частичной стабилизации кубической и тетрагональной высокотемпературных фаз. Применяемые стабилизирующие примеси и их концентрации. Микроструктура ЧСЦ и зависимость его механических прочностных характеристик от концентрации стабилизирующей примеси. Рост кристаллов методом холодного тигля. Реализованные и потенциальные сферы применения данных материалов.

## **Раздел 3. Важнейшие оксидные лазерные и рамановские монокристаллы, их свойства, методы получения и сферы применения**

### 3.1. Иттрий-алюминиевый гранат $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ и иттрий-алюминиевый перовскит $\text{YAlO}_3$

Свойства и области применения иттрий-алюминиевого граната. Кристаллическая структура граната, различные катионные позиции, характерные для этой структуры. Возможности кристаллохимического конструирования путем частичного или полного замещения ионов  $\text{Y}^{3+}$  и/или  $\text{Al}^{3+}$  на другие ионы. Кристаллическая структура  $\text{YAlO}_3$  и ее связь со структурой перовскита  $\text{CaTiO}_3$ . Свойства и области применения иттрий-алюминиевого перовскита. Фазовая диаграмма системы  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$ . Выращивание монокристаллов  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  и  $\text{YAlO}_3$ . Технологические и кристаллохимические факторы, стабилизирующие фазы  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  и  $\text{YAlO}_3$ . Характерные дефекты кристаллов и борьба с ними.

### 3.2. Ванадаты ( $\text{YVO}_4$ , $\text{GdVO}_4$ )

Кристаллическая структура и важнейшие свойства ванадатов. Уникальные особенности спектрально-люминесцентных свойств редкоземельных ионов-активаторов в этих матрицах. Преимущества и недостатки данных лазерных матриц. Особенности выращивания кристаллов из расплава. Летучесть  $\text{V}_2\text{O}_5$  и образование центров окраски на кислородных вакансиях.

### 3.3. Сексвиоксиды $\text{Ln}_2\text{O}_3$

Кристаллическая структура и важнейшие свойства сексвиоксидов редкоземельных ионов. Уникальные особенности и области применения данных кристаллов. Тигельные и бестигельные методы выращивания данных кристаллов, преимущества и недостатки данных методов. Оптическая керамика на основе данных кристаллов.

### 3.4. Фтор-апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Кристаллическая структура фтор-апатита. Локализация трехвалентных редкоземельных активаторов в данной матрице, коэффициенты распределения активаторов и проблемы зарядовой компенсации гетеровалентного вхождения активаторов в структуру кристалла. Уникальные особенности спектрально-люминесцентных свойств редкоземельных ионов-активаторов в этой матрице. Важнейшие свойства, преимущества и недостатки данной лазерной матрицы. Выращивание кристаллов из расплава. Особенности введения фосфора и фтора в состав шихты.

### 3.5. Разупорядоченные боросиликаты

Особенности структурно-разупорядоченных монокристаллов и их влияние на спектрально-люминесцентные характеристики редкоземельных активаторов. Преимущества и недостатки по сравнению с упорядоченными кристаллами. Характерные особенности разупорядоченных боратов и силикатов с апатитоподобными структурами. Выращивание данных кристаллов.

### 3.6. Моноклинные вольфраматы $\text{KLn}(\text{WO}_4)_2$

Кристаллическая структура кристаллов  $\text{KLn}(\text{WO}_4)_2$ . Механизмы формирования частичной структурной разупорядоченности данной группы кристаллов. Уникальные особенности спектрально-люминесцентных свойств редкоземельных ионов-активаторов в этой матрице. Важнейшие свойства, преимущества и недостатки данной группы лазерных матриц. Факторы, не позволяющие выращивать данные кристаллы напрямую из расплава. Выращивание кристаллов из раствора в расплаве. Применяемый высокотемпературный растворитель и его начальные концентрации в маточной среде. Типичные ростовые условия. Коэффициенты распределения редкоземельных активаторов в  $\text{KLn}(\text{WO}_4)_2$ .

### 3.7. Тетрагональные (шеелитоподобные) вольфраматы и молибдаты $\text{ALn}(\text{TO}_4)_2$

Кристаллическая структура шеелита и шеелитоподобных кристаллов двойных молибдатов и вольфраматов. Преимущества и проблемы кристаллов шеелита и повеллита как лазерных матриц. Механизмы формирования частичной структурной разупорядоченности кристаллов двойных молибдатов и вольфраматов. Важнейшие физико-химические и спектрально-люминесцентные свойства данной группы кристаллов. Выращивание кристаллов из расплава. Типичные ростовые условия. Области применения данных кристаллов в фотонике.

### 3.8. Титан-сапфир $\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$

Преимущества сапфира как лазерной матрицы для легирования ионами  $\text{Ti}^{3+}$ . Структурная локализация ионов  $\text{Ti}^{3+}$  в данном кристалле. Проблемы стабилизации трехвалентного состояния титана в кристалле. Технологические особенности получения монокристаллов титан-сапфира по сравнению с лейкосапфиром. Применяемые методы выращивания, атмосферы и тигли. Фазовая диаграмма  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ti}_2\text{O}_3$  и коэффициент распределения ионов  $\text{Ti}^{3+}$  между кристаллом  $\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$  и расплавом.

### 3.9. Оксидные кристаллы, легированные ионами хрома

Александрит и форстерит, легированные ионами хрома как лазерные кристаллы. Структура и важнейшие физико-химические свойства данных кристаллов. Возможные виды валентных состояний и структурных локализаций ионов хрома в данных матрицах, их влияние на спектрально-люминесцентные характеристики кристаллов. Проблемы стабилизации четырехвалентного состояния ионов хрома в кристалле хром-форстерита. Выращивание кристаллов из расплава, коэффициенты распределения хрома в кристаллах. Влияние ростовой атмосферы и зарядовых компенсаторов на вхождение различных валентных форм хрома в кристалл хром-форстерита. Кристалл иттрий-алюминиевого граната как матрица для ионов  $\text{Cr}^{4+}$ . Спектрально-люминесцентные характеристики ионов  $\text{Cr}^{4+}$  в данной матрице.

Особенности выращивания кристалла  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ , легированного ионами  $\text{Cr}^{4+}$ . Проблема зарядовой компенсации гетеровалентного вхождения ионов  $\text{Cr}^{4+}$  в структуру кристалла. Окислительный отжиг как способ влияния на соотношение концентраций ионов хрома различных валентных состояний и структурных локализаций в кристалле  $\text{Cr}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ .

### 3.10. Важнейшие кристаллы для пассивных лазерных затворов

Кристалл  $\text{Cr}^{4+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  как пассивный лазерный затвор. Предназначение и основные свойства, актуальные с точки зрения использования кристалла в данном качестве. Благородная шпинель, активированная ионами  $\text{Co}^{2+}$ . Нормальная, обращенная и разупорядоченная шпинель. Структура, спектральные, оптические, термические и механические прочностные свойства. Проблемы выращивания кристалла из расплава, ростовые параметры. Паразитные оптические центры кобальта и характерные ростовые дефекты в кристаллах.

## Раздел 4. Важнейшие лазерные кристаллы фторидов

### 4.1. Общие особенности кристаллов фторидов

Преимущества и недостатки монокристаллов фторидов как лазерных матриц по сравнению с оксидными кристаллами. Особенности получения кристаллов фторидов. Синтез компонентов шихты. Пирогидроллиз и его влияние на оптическое качество кристаллов. Способы борьбы с пирогидроллизом. Составы фторирующих ростовых атмосфер, их преимущества и недостатки, способы создания. Вещества-чистильщики: механизмы их работы и индикаторы протекания соответствующих реакций. Взаимодействие фторирующих атмосфер и чистильщиков с материалами тиглей и тепловых экранов при высоких температурах.

### 4.2. Кристаллы фторидов со структурой флюорита $\text{AF}_2$

Флюорит: кристаллическая структура, гетеровалентное вхождение трехвалентных редкоземельных активаторов в структуру кристалла и механизмы зарядовой компенсации такого вхождения. Возникающие при этом точечные дефекты и их влияние на спектрально-люминесцентные свойства кристаллов. Важнейшие оптические и физико-химические свойства кристалла, основные области применения. Способы выращивания кристалла, используемые материалы тиглей, атмосферы, чистильщики. Характерные дефекты в кристалле. Обзор кристаллов, изоструктурных флюориту.

### 4.3. Кристаллы фторидов со структурой шеелита $\text{LnLiF}_4$

Составы, структурные особенности и специфики свойств кристаллов данного семейства в зависимости от химического состава. Применение данных кристаллов. Квази-бинарная фазовая диаграмма системы  $\text{LiF} - \text{YF}_3$ , характер плавления кристалла  $\text{YLF}$ . Выращивание кристалла: методы, материалы тиглей, исходные составы расплавов, коэффициенты распределения примесей между кристаллом и расплавом. Ростовые проблемы и пути их решения, характерные дефекты в кристаллах

### 4.4. Кристаллы со структурой кальквирита $\text{LiABF}_6$

Структура кристаллов фторидов семейства кальквирита. Кристаллографические

позиции, в которые входят легирующие примеси хрома и церия. Коэффициенты распределения указанных примесей и проблемы зарядовой компенсации при таком вхождении. Важнейшие оптические и физико-химические свойства кристаллов. Основные спектрально-люминесцентные характеристики вышеуказанных легирующих примесей в данных матрицах. Сферы применения кристаллов данного семейства. Характер плавления кристаллов и особенности технологии их выращивания. Коммерчески доступные размеры кристаллов на сегодняшний день. Характерные дефекты в кристаллах и борьба с ними.

#### 4.5. Кристаллы LiF с центрами окраски

Структура кристалла LiF и основные физико-химические и оптические свойства данного кристалла. Важнейшие виды центров окраски, характерные для фторида лития, их структуры, спектрально-люминесцентные характеристики, а также возможности применения в фотонике. Методы получения кристаллов. Технологические приемы и режимы, позволяющие формировать в кристаллах LiF те или иные виды центров окраски.

### Раздел 5. Пьезо- и сегнетоэлектрики, нелинейно-оптические кристаллы

#### 5.1. Кварц $\text{SiO}_2$

Сущность прямого и обратного пьезоэлектрических эффектов и области применения этих эффектов. Особые виды симметрии кристаллов, в которых возможны данные эффекты. Структурные модификации  $\text{SiO}_2$  и полиморфные переходы между ними. Важнейшие свойства кристалла, а также расплава  $\text{SiO}_2$ . Зависимость величины и знака пьезоэлектрического эффекта в кристаллах кварца от кристаллографического направления, механизмы, объясняющие эту зависимость. Выращивание кристаллов гидротермальным методом, используемые технологические режимы и минерализаторы. Преимущества и недостатки минерализаторов разных видов. Коммерчески доступные размеры получаемых кристаллов. Характерные дефекты в кристаллах.

#### 5.2. Ниобат и танталат лития $\text{LiNbO}_3$ , $\text{LiTaO}_3$

Преимущества и недостатки ниобата и танталата лития как нелинейно-оптических кристаллов по сравнению с кварцем. Важнейшие области применения ниобата и танталата лития. Кристаллическая структура  $\text{LiNbO}_3$  и  $\text{LiTaO}_3$ . Точка Кюри и фазовый переход между пара- и сегнетоэлектрической фазой, изменения в структуре, происходящие в рамках такого перехода. Важнейшие физико-химические, оптические и электро-оптические свойства кристаллов. Фазовая диаграмма  $\text{LiNbO}_3$ , стехиометрический и конгруэнтно-плавящийся состав кристалла. Выращивание монокристаллов, ростовые режимы и параметры. Причины и уровни легирования кристаллов магнием. Коммерчески доступные размеры получаемых кристаллов. Характерные дефекты в кристаллах. Основное отличие сегнетоэлектриков от пьезоэлектриков. Способы монокристаллизации кристаллов  $\text{LiNbO}_3$ , получение периодически поляризованных структур. Конфигурация и ориентация доменов в данном кристалле.

#### 5.3. Титанил-фосфат калия $\text{KTiOPO}_4$ (КТП)



Преимущества и недостатки кристалла, основные области его применения. Кристаллическая структура КТП. Точка Кюри и фазовый переход между пара- и сегнетоэлектрической фазой, изменения в структуре, происходящие в рамках такого перехода. Подвижность ионов калия в структуре кристалла, возникающая при этом проблема «серых следов», борьба с этим явлением. Важнейшие физико-химические, оптические и электро-оптические свойства кристаллов. Получение кристаллов гидротермальным способом. Технологические режимы. Виды используемых минерализаторов, их преимущества и недостатки. Получаемые кристаллы, их размеры и качество. Получение кристаллов методом из раствора в расплаве. Используемые высокотемпературные растворители, их преимущества и недостатки. Размеры и качество получаемых кристаллов.

#### 5.4. $\beta$ -Борат бария $BaB_2O_4$ (ВВО)

Преимущества и недостатки ВВО как нелинейно-оптического кристалла, важнейшие области применения этого кристалла. Структура низкотемпературной  $\beta$ -модификации ВВО, ее связь со структурой высокотемпературной  $\alpha$ -модификации. Особенности полиморфного превращения между этими двумя модификациями. Важнейшие физико-химические свойства кристалла и расплава ВВО. Оптические и нелинейно-оптические свойства ВВО. Фазовая диаграмма квазибинарной системы  $BaO-B_2O_3$ , характер плавления кристалла ВВО. Синтез шихты различными способами. Попытки выращивания кристалла методом Чохральского, ростовые режимы, позволяющие получать таким способом  $\beta$ -модификацию ВВО. Выращивание кристаллов из раствора в расплаве, опробованные высокотемпературные растворители, их преимущества и недостатки. Применяемые ростовые параметры, достигнутые размеры кристаллов. Характерные дефекты в кристалле и борьба с ними.

#### 5.5. Триборат лития $LiB_3O_5$ (ЛВО)

Преимущества и основные области применения кристалла, достигнутые на сегодняшний день размеры и оптическое качество образцов кристалла. Кристаллическая структура ЛВО, формы координационных полиэдров вокруг ионов бора, преимущества кристалла, являющиеся следствием данных форм. Физико-химические свойства кристалла, температура и характер плавления. Оптические и нелинейно-оптические характеристики кристалла. Некритический фазовый синхронизм в кристаллах ЛВО. Выращивание кристалла с помощью раствор-расплавных технологий. Применяемые высокотемпературные растворители, их преимущества и недостатки. Ростовые параметры и режимы.

### Раздел 6. Магнитные и магнитооптические кристаллы

#### 6.1. Железо-иттриевый гранат (феррит) $Y_3Fe_5O_{12}$ (ЖИГ)

Структура кристалла, валентные состояния и виды структурной локализации ионов железа в кристалле, обусловленный этим тип магнитной упорядоченности кристалла ЖИГ. Основные физико-химические и оптические свойства кристалла, спектральный диапазон его магнитооптических применений. Выращивание кристалла ЖИГ из раствора в расплаве. Основной используемый вид высокотемпературных растворителей, его преимущества и недостатки, альтернативные растворители. Технологические режимы роста. Получение эпитаксиальных пленок ЖИГ: методы получения, используемые подложки, ориентация их рабочей поверхности. Основные

виды применения кристалла и пленок ЖИГ, основанные на явлении Фарадеевского вращения. Удельное вращение и магнито-оптический ФОМ, их спектральная зависимость. Устройство и принцип действия магнито-оптического изолятора. Ферромагнитный резонанс, его добротность и возможности частотной перестройки в кристалле ЖИГ. Практические применения ферромагнитного резонанса в кристалле ЖИГ.

## **Раздел 7. Сцинтилляционные кристаллы**

### **7.1. Введение**

Явление сцинтилляции. Основные виды взаимодействий частиц (квантов) высоких энергий с веществом, приводящие к сцинтилляции. Устройство сцинтилляционных датчиков и роль сцинтиллирующих кристаллов в этих датчиках. Важнейшие параметры сцинтиллирующих кристаллов: световыход, температурный коэффициент световыхода, энергетическое разрешение, порог чувствительности, спектр высвечивания, время высвечивания и послесвечение, эффективный атомный номер. Радиационная стойкость кристаллов сцинтилляторов, основные механизмы деградации кристаллов под действием ионизирующих излучений. Преимущества монокристаллов как сцинтилляторов по сравнению со стеклами, полимерами и жидкостями аналогичного функционального назначения.

### **7.2. Щелочно-галлоидные кристаллы, легированные таллием NaI(Tl), CsI(Tl)**

Кристаллическая структура, важнейшие физико-химические и сцинтилляционные свойства данных кристаллов, их преимущества и недостатки. Зависимость сцинтилляционных характеристик кристаллов от примесной чистоты. Основные методы выращивания и дальнейшей оптической обработки кристаллов. Важнейшие технологические параметры. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов.

### **7.3. Селенид цинка, легированный теллуром ZnSe(Te)**

Кристаллическая структура, важнейшие физико-химические, оптические и сцинтилляционные свойства кристалла. Зависимость люминесцентных характеристик кристалла от наличия/отсутствия примеси теллура и способов послеростовой обработки кристаллов, версии природы центров люминесценции. Преимущества и недостатки, области применения данного сцинтиллятора. Обзор важнейших методов выращивания монокристаллов и синтеза прозрачной керамики ZnSe(Te).

### **7.4. Германат висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$**

Кристаллическая структура, важнейшие физико-химические свойства данного кристалла, его преимущества и недостатки, важнейшие области применения. Сцинтилляционные характеристики кристалла и их зависимость от примесной чистоты. Выращивание кристалла методом Чохальского, важнейшие технологические параметры, характерные дефекты. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов.

### **7.5. Вольфрамат кадмия $\text{CdWO}_4$**

Кристаллическая структура, важнейшие физико-химические свойства данного кристалла, его преимущества и недостатки, важнейшие области применения. Сцинтилляционные характеристики кристалла, природа люминесцирующих центров.

Специфики люминесцентных свойств, позволяющие разделить различить  $\alpha$ - и  $\gamma$ -излучения с помощью данного сцинтиллятора. Механизмы, обеспечивающие возможность регистрации потока тепловых нейтронов с помощью  $\text{CdWO}_4$ . Методы выращивания кристалла, важнейшие проблемы и технологические ростовые параметры, характерные дефекты в кристаллах и борьба с ними. Особые требования к примесной чистоте сырья для выращивания кристаллов. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов.

#### 7.6. Ортосиликат лютеция, активированный ионами церия $\text{Ce}^{3+}:\text{Lu}_2\text{SiO}_5$

Кристаллическая структура, распределение активатора по структурно-неэквивалентным кристаллографическим позициям матрицы. Важнейшие физико-химические свойства данного кристалла, его преимущества и недостатки, важнейшие области применения. Спектральные и сцинтилляционные характеристики кристалла. Мелкие ловушки как причина послесвечения в кристалле. Выращивание кристалла методом Чохральского, технологические ростовые параметры. Технологические приемы, позволяющие продлить сроки службы иридиевых тиглей, используемых при выращивании. Послеростовой отжиг. Характерные дефекты в кристаллах и борьба с ними. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов.

#### 7.7. Гранаты с церием

Лютеций-алюминиевый гранат, активированный церием,  $\text{Ce}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ . Важнейшие спектральные, сцинтилляционные и иные свойства кристалла, его преимущества и недостатки. Выращивание кристалла методом Чохральского, технологические ростовые режимы. Варианты возможных сочетаний «материал тигля – ростовая атмосфера». Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов. Важнейший характерный точечный дефект, обуславливающий послесвечение кристалла, механизмы возникновения послесвечения за счет этого дефекта. Кристаллохимическое конструирование, приводящее к решению данной проблемы. Кристалл  $\text{Ce}:\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$  как оптимальный результат такого конструирования. Основные сцинтилляционные характеристики этого кристалла. Выращивание кристалла методом Чохральского, технологические ростовые режимы. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов  $\text{Ce}:\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$ .

#### 7.8. Фторид церия $\text{CeF}_3$

Важнейшие спектральные и сцинтилляционные характеристики кристалла. Кристаллическая структура, механические прочностные и иные свойства  $\text{CeF}_3$ . Его преимущества и недостатки. Синтез шихты для выращивания кристалла, меры по предотвращению пирогидролита фторида церия во время его выращивания, важные особенности этих мер по сравнению с таковыми, используемыми для других фторидов. Выращивание кристалла методом Чохральского и Бриджмена, технологические ростовые режимы, материалы технологической оснастки. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов  $\text{CeF}_3$ .

### Раздел 8. Волоконно-оптические материалы

#### 8.1. Изготовление заготовок методом «порошок в трубе».

Заготовка для вытягивания оптоволокна, ее предназначение и химический состав. Общие требования к примесной чистоте реактивов, а также к чистоте помещений, в

которых изготавливаются заготовки. Негативная роль влаги, и способы избавления от нее при изготовлении заготовок. Суть и техническое исполнение метода «порошок в трубе», его преимущества, недостатки и области применения. Изготовление этим методом заготовок для многосердцевидных волокон и волокон с полыми сердцевинами. Этапы изготовления заготовки этим методом.

#### 8.2. Изготовление заготовок методом наружного парофазного осаждения

Суть и техническое исполнение метода наружного парофазного осаждения. Этапы изготовления заготовки этим методом. Преимущества, недостатки и области применения метода.

#### 8.3. Изготовление заготовок методом вертикального осевого осаждения

Суть и техническое исполнение метода вертикального осевого осаждения. Сходства и отличия этого метода от выращивания кристаллов методом Вернейля. Этапы изготовления заготовки этим методом. Преимущества, недостатки и области применения метода.

#### 8.4. Изготовление заготовок методами модифицированного химического парофазного осаждения.

Суть и техническое исполнение метода модифицированного химического парофазного осаждения (MCVD). Модификации этого метода, FCVD и PCVD. Этапы изготовления заготовки этими методами. Преимущества, недостатки и области применения метода. Особенности изготовления этими методами заготовок для активных волокон, легированных 4f или 3d-ионами.

#### 8.5. Вытягивание кварцевого волокна из заготовки

Суть и техническое исполнение процесса вытягивания кварцевого волокна из заготовки. Технологические параметры и режимы. Система автоматического поддержания диаметра волокна. Ламинарный режим вытягивания как залог воспроизведения конфигурации заготовки в волокне. Свето-отвердевающая полимерная оболочка волокна и ее роль.

#### 8.6. Обзор специальных, в том числе, монокристаллических волокон

Ограничения по использованию кварцевых волокон в фотонике. Волокна для среднего и дальнего ИК-диапазонов. Волокна из галогенидных, халькогенидных и теллуритных стекол. Их основные свойства, преимущества и недостатки, особенности получения и области применения. Монокристаллические волокна на основе тугоплавких оксидов. Их основные свойства, преимущества и недостатки, области применения. Важнейшие способы получения тугоплавких монокристаллических волокон. Смысл и способы создания в них радиального градиента показателей преломления.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
	<b>Знать:</b>								
1	– Важнейшие современные полупроводниковые, функциональные, лазерные и нелинейно-оптические монокристаллы, а также основные типы оптических волокон, их основные свойства, технологию производства и сферы применения;	+	+	+	+	+	+	+	+
2	– Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных монокристаллических и волоконно-оптических материалов для квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики;			+	+	+	+		+
	<b>Уметь:</b>								
3	– грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик монокристаллических материалов, относящихся к различным классам химических веществ и соединений, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований;	+		+	+	+	+	+	

4	– правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;	+		+	+	+	+	+	
	– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов.	+	+	+		+		+	+
	<b>Владеть:</b>								
5	- основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост кристаллов, квантовая электроника, волоконная и нелинейная оптика;	+	+	+	+	+	+		+
6	– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, росту кристаллов, квантовой электронике, волоконной и нелинейной оптике, по соответствующим разделам химии, физики и физической химии твердого состояния, физической электроники. Быть способным выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения конкретной тематики исследования моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения....		+		+		+		+
7	– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиков и технического персонала) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.	+		+			+	+	
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b><u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u></b>									
<b>Код и наименование ПК</b>		<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>							

8	ПК-2 Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	ПК-2.3 Владеет навыками соотнесения результатов собственной научной работы с отечественным и зарубежным опытом по тематике исследования.		+		+		+		+
9	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники.	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.	+		+		+		+	+
10		ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и нанoeлектроники с заданными функциональными свойствами.	+		+	+				+
11		ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами.	+		+	+				+
12	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристикам материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.	+	+					+	+
13		ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники.	+		+	+			+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Расширение знаний алгоритмов поиска, оценки и анализа научно-технической информации по кристаллам кремния	3
2	1	Повышение уровня умений обобщать и систематизировать научно-техническую информацию по кристаллам карбида кремния	3
3	1	Закрепление навыков соотнесения результатов собственной научной работы по исследованиям монокристаллов, нанопорошков и поликристаллических пленок алмаза с отечественным и зарубежным опытом	2
4	1	Расширение знаний физических принципов работы материалов и изделий электроники и нанoeлектроники на основе арсенида галлия	3
5	1	Повышение уровня умений подбирать материалы на основе нитрида галлия для создания изделий электроники и нанoeлектроники с заданными функциональными свойствами	3
6	1	Закрепление навыков создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами на основе полупроводников типа $A^{III}B^V$	2
7	1	Расширение знаний о современных требованиях к функциональным характеристиками монокристаллов и керамик номинально-чистого и легированного ионами $Cr^{2+}$ и $Fe^{2+}$ селенида цинка	2
8	1	Повышение уровня умений модифицировать кристаллы полупроводников типа $A^{II}B^{VI}$ для создания новых изделий электроники и нанoeлектроники на их основе	2
9	1	Закрепление навыков по измерению функциональных характеристик материалов и изделий электроники и нанoeлектроники на основе бинарных полупроводников не сфалеритно-вюрцитного ряда	2
10	2	Расширение знаний алгоритмов поиска, оценки и анализа научно-технической информации по кристаллам лейкоаппифра	2



11	2	Повышение уровня умений обобщать и систематизировать научно-техническую информацию по кристаллам флюорита и наноструктурированным монокристаллах ЧСЦ	3
12	3	Закрепление навыков и умений соотносить результаты собственной научной работы по исследованиям монокристаллов иттрий-алюминиевого граната и иттрий-алюминиевого перовскита с отечественным и зарубежным опытом	2
13	3	Расширение знаний физических принципов работы материалов и изделий лазерной техники на основе кристаллов ванадатов	3
14	3	Повышение уровня умений подбирать материалы на основе монокристаллов селенидов редкоземельных ионов нитрида галлия для создания изделий фотоники, электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами	2
15	3	Расширение знаний о современных требованиях к функциональным характеристиками монокристаллов фосфатов со структурой апатита	2
16	3	Повышение уровня умений модифицировать кристаллы разупорядоченных боросиликатов для создания новых изделий фотоники, электроники и наноэлектроники на их основе	3
17	3	Закрепление навыков по измерению функциональных характеристик материалов и изделий фотоники, электроники и наноэлектроники на основе моноклинных и тетрагональных вольфраматов и молибдатов	3
18	3	Расширение знаний алгоритмов поиска, оценки и анализа научно-технической информации по кристаллам титан-сапфира	2
19	3	Повышение уровня умений обобщать и систематизировать научно-техническую информацию по оксидным лазерным кристаллам, легированным ионами хрома	4
20	3	Закрепление навыков сопоставления результатов собственной научной работы по исследованиям важнейших монокристаллов для пассивных лазерных затворов с отечественным и зарубежным опытом	2
21	4	Расширение знаний физических принципов работы материалов и изделий фотоники, электроники и наноэлектроники на основе кристаллов фторидов со структурой флюорита	1
22	4	Повышение уровня умений подбирать материалы	1

		на основе кристаллов фторидов со структурой шеелита для создания изделий фотоники, электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами	
23	4	Закрепление навыков создания материалов и изделий фотоники, электроники и наноэлектроники с заданными свойствами на основе кристаллов со структурой кальквирита	1
24	4	Расширение знаний о современных требованиях к функциональным характеристиками монокристаллов LiF с центрами окраски	1
25	5	Повышение уровня умений модифицировать кристаллы кварца для создания новых изделий электроники и наноэлектроники на их основе	1
26	5	Закрепление навыков по измерению функциональных характеристик материалов и изделий электроники и наноэлектроники на основе монокристаллов ниобата и танталата лития	2
27	5	Расширение знаний алгоритмов поиска, оценки и анализа научно-технической информации по кристаллам титанил-фосфата калия	2
28	5	Повышение уровня умений обобщать и систематизировать научно-техническую информацию по кристаллам бората бария	2
29	5	Закрепление навыков соотнесения результатов собственной научной работы по исследованиям монокристаллов трибората лития с отечественным и зарубежным опытом	2
30	6	Расширение знаний физических принципов работы материалов и изделий фотоники, электроники и наноэлектроники на основе железо-иттриевого и тербий-алюминиевого граната	3
31	7	Повышение уровня умений подбирать сцинтилляционные материалы на основе щелочно-галлоидных кристаллов для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами	2
32	7	Закрепление навыков создания сцинтилляционных материалов с заданными свойствами на основе кристалла селенида цинка	1
33	7	Расширение знаний о современных требованиях к функциональным характеристикам сцинтилляционных монокристаллов германата висмута	1
34	7	Повышение уровня умений модифицировать кристаллы вольфрамата кадмия для создания	2

		новых сцинтилляторов их основе	
35	7	Закрепление навыков по измерению функциональных характеристик сцинтилляционных материалов на основе ортосиликата лютеция, легированного ионами церия	1
36	7	Расширение знаний алгоритмов поиска, оценки и анализа научно-технической информации по сцинтилляционным кристаллам со структурой граната, активированным ионами церия	2
37	7	Повышение уровня умений обобщать и систематизировать научно-техническую информацию по сцинтилляционным кристаллам фторида церия	1
38	8	Закрепление навыков соотнесения результатов собственной научной работы по совершенствованию технологии изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна методом «порошок в трубе» с отечественным и зарубежным опытом	1
39	8	Расширение знаний физико-химических принципов технологии изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна методом наружного парофазного осаждения	1
40	8	Повышение уровня умений подбирать оптимальные технологические режимы изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна методом вертикального осевого осаждения	1
41	8	Закрепление навыков по совершенствованию технологии изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна методом модифицированного химического парофазного осаждения	1
42	8	Повышение уровня умений модифицировать технологию вытягивание кварцевого оптоволокна из заготовки	1
43	8	Расширение знаний о современных требованиях к функциональным характеристикам специальных, в том числе, монокристаллических оптоволокон	1

## 6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Монокристаллы для фотоники и электроники», а также дает знания о различных методах выращивания кристаллов.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 32 балла (максимально по 8 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

### Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1	9	Выращивание кристаллов методом ВНК	17
2	9	Выращивание кристаллов методом ГНК	17
3	9	Выращивание кристаллов методом Чохральского	17
4	9	Выращивание кристаллов из водных растворов	17

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает: ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;

- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче **зачета с оценкой** (1 семестр) , экзаменов (2, 3 семестры) и лабораторного практикума (3 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается:

- В первом семестре - из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов) и итогового контроля в форме зачета с оценкой (максимальная оценка 40 баллов).
- Во втором семестре - из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов) и итогового контроля в форме экзамена (максимальная оценка 40 баллов).
- В третьем семестре - из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 30 баллов), лабораторного практикума (максимальная оценка 30 балла) и итогового контроля в форме экзамена (максимальная оценка 40 баллов).

### 8.1. Примерная тематика реферативно-аналитической работы.

Реферативно-аналитической работы не предусмотрено

### 8.2. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 8 контрольных работ (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы 1,

2 и 3 (1-й семестр) составляет 60 баллов, по 20 баллов за каждую работу. Максимальная оценка за контрольные работы 4, 5 и 6 (2 семестр) составляет 60 баллов, по 20 баллов за каждую работу. Максимальная оценка за контрольные работы 7 и 8 (3 семестр) составляет 30 баллов, по 15 баллов за каждую работу.

**Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 4 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 1.1.**

Что из перечисленного является преимуществом кремния как полупроводникового монокристалла?	а	Очень высокие механические прочностные характеристики
	б	Очень высокая теплопроводность
	в	Относительная простота и дешевизна технологии получения крупных монокристаллов высокого качества
	г	малотоксичность исходной шихты
	д	высокая радиационная и химическая стойкость

**Вопрос 1.2.**

Что осложняет процесс выращивания монокристалла арсенида галлия из расплава?	а	Слишком высокая температура плавления
	б	Перитектический характер плавления
	в	Наличие области ретроградной растворимости на фазовой диаграмме
	г	Высокая упругость паров мышьяка при температуре плавления GaAs
	д	Высокая упругость паров галлия при температуре плавления GaAs

**Вопрос 1.3.**

Какую основную проблему при выращивании монокристаллов карбида кремния решает метод сэндвич-сублимации?	а	Инконгруэнтная сублимация
	б	Очень низкие коэффициенты вхождения легирующих примесей
	в	Образование микропор
	г	Получение чистого 6Н политипа
	д	Получение чистого 3С политипа

**Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 4 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 2.1.**

Какие методы используются для промышленного выращивания монокристаллов лейкосапфира?	а	Киропулос
	б	Гидротермальный
	в	Горизонтальная направленная кристаллизация
	г	Степанов
	д	Метод холодного тигля

**Вопрос 2.2.**

Тигли из каких материалов используются при выращивании монокристаллов фианита?	а	Платина
	б	Иридий
	в	Вольфрам
	г	Пиролитический нитрид бора
	д	Оксид циркония

**Вопрос 2.3.**

По какому свойству ЧСЦ выглядит предпочтительнее фианита?	а	Теплопроводность
	б	Электропроводность
	в	Показатель преломления
	г	Трещиностойкость
	д	Химическая инертность и биосовместимость

**Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 4 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 3.1.**

Какие преимущества кристалла $Y_3Al_5O_{12}$ сделали его столь популярной матрицей для активных сред твердотельных лазеров?	а	Высокие термомеханические характеристики
	б	Высокий коэффициент распределения неодима в данном кристалле
	в	Рекордно высокие пиковые удельные интенсивности спектральных полос редкоземельных активаторов
	г	Широкая область прозрачности в среднем ИК-диапазоне
	д	Простота выращивания с помощью стандартных расплавных технологий

**Вопрос 3.2.**

Какие дефекты характерны для монокристаллов ванадата иттрия при его выращивании методом Чохральского?	а	Ростовая полосчатость
	б	Гранный эффект
	в	Центры окраски на основе кислородных вакансий и ионов ванадия в низших степенях окисления
	г	Дефекты антиструктуры

	д	Включения побочных фаз на основе ионов ванадия в низших степенях окисления
--	---	--

### Вопрос 3.3.

Что обычно используется в качестве высокотемпературного растворителя при выращивании кристаллов типа $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ из раствора в расплаве	а	$\text{PbO} + \text{B}_2\text{O}_3$
	б	$\text{NaCl}$
	в	Молибдат лития
	г	Избыток $\text{Gd}_2\text{O}_3$
	д	Дефицит $\text{Gd}_2\text{O}_3$

**Раздел 4. Примеры вопросов к контрольной работе № 4.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 4 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

### Вопрос 4.1.

К чему приводит пирогидролит при выращивании монокристаллов фторидов?	а	К частичному замещению ионов фтора ионами кислорода и, как следствие, к образованию включений оксидных и/или оксифторидных побочных фаз в кристаллах
	б	К частичному замещению ионов фтора ионами кислорода и, как следствие, к возникновению дополнительных видов фононов высоких энергий в кристаллах
	в	К частичному замещению ионов фтора гидроксил-ионами и, как следствие, к образованию включений побочных фаз гидроксидов в кристаллах
	г	К частичному замещению ионов фтора гидроксил-ионами и, как следствие, к возникновению дополнительных видов фононов высоких энергий в кристаллах
	д	К частичному замещению ионов фтора гидроксил-ионами и, как следствие, к возникновению специфических видов центров окраски в кристаллах

### Вопрос 4.2.

Какой механизм зарядовой компенсации гетеровалентного вхождения редкоземельных активаторов превалирует в кристаллах типа флюорита?	а	Вакансии в катионной подрешетке
	б	Вакансии подрешетке фтора
	в	Ионы фтора в интерстициях
	г	Введение ионов $\text{Na}^+$
	д	Введение ионов $\text{O}^{2-}$

### Вопрос 4.3.

Как решается проблема инконгруэнтного	а	Выращивание из раствора в расплаве с введением дополнительного компонента-
---------------------------------------	---	--

(перитектического) плавления при выращивании кристаллов $\text{LiYF}_4$ ?		флюса в расплав
	б	В расплав вводится небольшой избыток $\text{LiF}$
	в	В расплав вводится небольшой избыток $\text{YF}_3$
	г	Выращивание кристалла гидротермальным методом
	д	Никак: кристалл нормально растет из стехиометрического расплава с использованием стандартных расплавных технологий

**Раздел 5. Примеры вопросов к контрольной работе № 5.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 4 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и не указания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 5.1.**

Что из перечисленного является недостатком кварца как пьезоэлектрического монокристалла?	а	Узкий диапазон окна прозрачности в ИК-диапазоне
	б	Низкая воспроизводимость функциональных свойств из-за наличия случайных примесей
	в	Низкие коэффициенты нелинейной диэлектрической восприимчивости
	г	Низкие коэффициенты электро-механической связи
	д	Высокая температурная зависимость пьезоэлектрических свойств

**Вопрос 5.2.**

Какие утверждения справедливы для кристаллов ниобата лития, выращиваемых из расплава стехиометрического состава?	а	Такие кристаллы характеризуются высокой однородностью состава по длине були даже если доля закристаллизованного расплава, изначально имевшегося в тигле, приближается к 100%
	б	Такие кристаллы характеризуются наилучшими для данной системы нелинейно-оптическими свойствами
	в	Такие кристаллы характеризуются максимально возможными для данной системы механическими прочностными свойствами
	г	Для таких кристаллов менее характерна ростовая полосчатость
	д	Фактический состав кристалла соответствует стехиометрии

**Вопрос 5.3.**



Какие структурные искажения в кристалле КТР, имеющие место ниже точки Кюри, обуславливают нелинейно-оптические свойства этого кристалла?	а	Небольшое моноклинное искажение орторомбической структуры
	б	Небольшое вытягивание титан-кислородных октаэдров вдоль оси 3 порядка
	в	Небольшое сплющивание титан-кислородных октаэдров вдоль оси 4 порядка
	г	Неравномерность распределения ионов $K^+$ по каналам структуры
	д	Небольшое смещение ионов $Ti^{4+}$ от центров титан-кислородных октаэдров

**Раздел 6. Примеры вопросов к контрольной работе № 6.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 4 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 6.1.**

В каких кристаллографических позициях железо-иттриевого граната локализуются ионы $Fe^{3+}$	а	Только в тетраэдрических
	б	Только в октаэдрических
	в	Только в додекаэдрических
	г	В октаэдрических и тетраэдрических
	д	В октаэдрических и додекаэдрических

**Вопрос 6.2.**

В каком спектральном диапазоне возможна работа железо-иттриевого граната в качестве магнитооптического материала?	а	В видимом
	б	В видимом и ближайшем ИК-диапазоне
	в	В видимом и ближайшем УФ-диапазоне
	г	В ИК-диапазоне, начиная от $\sim 1,2$ мкм
	д	Во всем оптическом диапазоне

**Вопрос 6.3.**

Что чаще всего используют в качестве высокотемпературного растворителя при выращивании кристаллов железо-иттриевого граната?	а	Молибдат лития
	б	Бивольфрамат калия
	в	Избыток оксида железа
	г	Смесь оксидов натрия и бора
	д	Смесь оксида и фторида свинца, а также оксида бора

**Раздел 7. Примеры вопросов к контрольной работе № 7.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 3 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 7.1.**

Что такое энергетическое разрешение сцинтиллятора?	а	Дисперсия величины общего количества квантов излучения оптического диапазона, образующихся при взаимодействии одной частицы (кванта) ионизирующих излучений с материалом сцинтиллятора
	б	Дисперсия величины квантового выхода сцинтилляции
	в	Дисперсия величины энергетического КПД сцинтилляции
	г	Разброс величины общей энергии излучения оптического диапазона, выделяющейся при поглощении материалом сцинтиллятора 1 МэВ энергии ионизирующих излучений
	д	Дисперсия величины общего количества квантов излучения оптического диапазона, образующихся при поглощении материалом сцинтиллятора 1 МэВ энергии ионизирующих излучений

**Вопрос 7.2.**

Какими методами выращивают сцинтилляционные кристаллы NaI(Tl)?	а	Чохральский
	б	Киропулос
	в	Бриджмен
	г	Из водного раствора методом понижения температуры
	д	Из водного раствора методом испарения растворителя

**Вопрос 7.3.**

Какие важнейшие проблемы кристаллов лютеций-алюминиевого граната с церием решает частичное или полное замещение лютеция на гадолиний, а алюминия – на галлий в составе этих кристаллов?	а	Увеличение световыхода сцинтилляции
	б	Улучшение энергетического разрешения сцинтилляции
	в	Укорочение времени высвечивания
	г	Уменьшение температурного коэффициента световыхода сцинтилляции
	д	Энергия ловушек на основе дефектов антиструктуры становится больше ширины запрещенной зоны кристалла

**Раздел 8. Примеры вопросов к контрольной работе № 8.** Контрольная работа содержит 5 вопросов закрытого типа, по 3 балла за вопрос. На каждый вопрос предлагается по 5 вариантов ответа, как минимум, один из которых является правильным. Максимальное количество баллов за вопрос начисляется в случае указания студентом всех правильных ответов и неуказания им ни одного неправильного ответа. За каждый не указанный

правильный ответ, а также за каждый ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается.

**Вопрос 8.1.**

Какие методы используются для изготовления заготовок для вытягивания многосердцевидных волокон, а также волокон с полыми сердцевинами?	а	Порошок в трубе
	б	Наружное парофазное осаждение (OVD)
	в	Аксиальное парофазное осаждение (VAD)
	г	Модифицированное химическое парофазное осаждение (MCVD)
	д	Модифицированное плазмохимическое парофазное осаждение (PCVD)

**Вопрос 8.2.**

Какие методы используются для изготовления заготовок для вытягивания многосердцевидных волокон, а также волокон с полыми сердцевинами?	а	Порошок в трубе
	б	Наружное парофазное осаждение (OVD)
	в	Аксиальное парофазное осаждение (VAD)
	г	Модифицированное химическое парофазное осаждение (MCVD)
	д	Модифицированное плазмохимическое парофазное осаждение (PCVD)

**Вопрос 8.3.**

Преимуществами наружного парофазного осаждения (OVD) как метода изготовления заготовок для дальнейшего вытягивания волокон являются:	а	Возможность делать большие заготовки, пригодные для дальнейшего вытягивания длинных волокон
	б	Возможность делать заготовки для одномодовых и градиентных волокон
	в	Возможность делать заготовки для активных волокон иттербиевых волоконных лазеров
	г	Отсутствие необходимости проводить процесс в чистой комнате
	д	Простота оборудования

### **8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (1-й семестр – зачет с оценкой, 2-й семестр – экзамен, 3-й семестр - экзамен).**

Максимальное количество баллов за зачет с оценкой (1-й семестр) – 40 баллов, за экзамен (2-й семестр) – 40 баллов, за экзамен (3-й семестр) – 40 баллов,

#### **8.3.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – зачет с оценкой).**

Зачет с оценкой включает контрольные вопросы по разделам 1, 2 и 3, два вопроса по 1-му разделу, один вопрос по 2-му разделу и два вопроса по 3-му разделу. Максимальная оценка за каждый вопрос – 8 баллов. Полный перечень вопросов содержится в Фонде оценочных средств по дисциплине. Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы. Примеры контрольных вопросов по разделам:

##### **Раздел 1:**

1. Кристаллическая структура и физико-химические свойства кремния
2. Электрофизические свойства кремния в сравнении с другими полупроводниками.
3. Важность и методы глубокой очистки шихты для выращивания монокристаллов кремния.
4. Важнейшие методы выращивания монокристаллов кремния. Сравнение. Сферы применения кристаллов кремния, выращенных различными методами.
5. Послеростовая механическая обработка выращенных монокристаллов кремния. Важнейшие этапы.
6. Характерные дефекты в монокристаллах кремния, методы их диагностики и влияние на свойства кристаллов.
7. Важнейшие примеси в монокристаллах кремния. Управление типом проводимости и создание p-n переходов в кристалле. Фотолитография.
8. Технология мульткристаллического кремния. Его применение.
9. Кристаллическая структура и важнейшие физико-химические свойства арсенида галлия.
10. Электрофизические свойства кристалла арсенида галлия. Локальный уровень EL-2 растворенный углерод, их значение с точки зрения получения полуизолирующего GaAs.
11. Особенности зонной структуры GaAs. Долины зоны проводимости GaAs и их значение для применения GaAs в качестве диодов Ганна.
12. Прямозонный характер энергетической диаграммы арсенида галлия и его значение с точки зрения применения кристаллов в светоизлучающих структурах. Легирующие примеси и типы проводимости GaAs.
13. Фазовая диаграмма GaAs. Ретроградная растворимость избыточного мышьяка в GaAs. Методы борьбы с этой проблемой.
14. Селективная летучесть мышьяка из расплава при температуре плавления GaAs. Методы борьбы с этой проблемой.
15. Методы синтеза шихты и выращивания кристаллов GaAs, сравнительный анализ. Области применения кристалла.

##### **Раздел 2:**

1. Кристаллическая структура и полиморфные модификации лейкосапфира, физико-химические свойства.

2. Важнейшие методы выращивания кристаллов лейкосапфира: метод Киропулоса, Багдасарова. Используемые виды нагрева, материалы тиглей и тепловых экранов, ростовые атмосферы. преимущества и недостатки.
3. Выращивание профилированных кристаллов лейкосапфира методом Степанова. Проблемы выращивания монокристаллов в форме полусферы.
4. Характерные дефекты в монокристаллах лейкосапфира, выращиваемых различными методами. Особенности послеростовой механической обработки кристаллов.
5. Фианит и частично-стабилизированный диоксид циркония: Структура кристалла, уникальные механические прочностные, оптические и иные физико-химические свойства. Области применения.
6. Фазовая диаграмма системы  $ZrO_2 - Y_2O_3$ . Суб-солидусные полиморфные переходы, проблемы полной и частичной стабилизации кубической и тетрагональной высокотемпературных фаз.
7. Микроструктура ЧСЦ и зависимость его механических прочностных характеристик от концентрации стабилизирующей примеси.
8. Рост кристаллов методом холодного тигля. Реализованные и потенциальные сферы применения данных материалов.

### **Раздел 3:**

1. Важнейшие физико-химические свойства и области применения монокристаллов иттрий-алюминиевого граната.
2. Кристаллическая структура граната, различные катионные позиции, характерные для этой структуры. Возможности кристаллохимического конструирования.
3. Кристаллическая структура  $YAlO_3$  и ее связь со структурой перовскита  $CaTiO_3$ . Свойства и области применения иттрий-алюминиевого перовскита.
4. Фазовая диаграмма системы  $Y_2O_3 - Al_2O_3$ . Выращивание монокристаллов  $Y_3Al_5O_{12}$  и  $YAlO_3$  методом Чохральского. Технологические и кристаллохимические факторы, стабилизирующие фазы  $Y_3Al_5O_{12}$  и  $YAlO_3$ .
5. Характерные дефекты кристаллов  $Y_3Al_5O_{12}$  и  $YAlO_3$  при их выращивании методом Чохральского, борьба с этими дефектами.
6. Структура кристаллов  $KLn(WO_4)_2$ . Механизмы формирования частичной структурной разупорядоченности данной группы кристаллов.
7. Важнейшие физико-химические свойства кристаллов  $KLn(WO_4)_2$ . Преимущества и недостатки данной группы лазерных матриц.
8. Уникальные особенности спектрально-люминесцентных свойств редкоземельных ионов-активаторов в кристаллах  $KLn(WO_4)_2$ , а также Рамановских свойств данных.
9. Выращивание кристаллов  $KLn(WO_4)_2$  из раствора в расплаве. Применяемый высокотемпературный растворитель и ростовые условия. Коэффициенты распределения редкоземельных активаторов в  $KLn(WO_4)_2$ .

### **8.3.2 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (2-й семестр – экзамен).**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по разделам 4, 5 и 6 рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. 1-й вопрос – 15 баллов, вопрос 2 – 15 баллов, вопрос 3 – 10 баллов. Полный перечень вопросов содержится в Фонде оценочных средств по дисциплине. Примеры контрольных вопросов по разделам:

### **Раздел 4:**

1. Преимущества и недостатки монокристаллов фторидов как лазерных матриц по сравнению с оксидными кристаллами.

2. Пирогидролиз монокристаллов фторидов и его влияние на оптическое качество и спектральные характеристики образцов. Способы борьбы с пирогидролизом.
3. Составы фторирующих атмосфер, используемых при выращивании монокристаллов фторидов, их преимущества и недостатки, способы создания. Взаимодействие фторирующих атмосфер с материалами тиглей и тепловых экранов при высоких температурах.
4. Вещества-чистильщики, используемые при выращивании монокристаллов фторидов: механизмы их работы и индикаторы протекания соответствующих реакций. Взаимодействие чистильщиков с материалами тиглей при высоких температурах.
5. Флюорит: кристаллическая структура и важнейшие физико-химические свойства. Важнейшие области применения кристалла.
6. Гетеровалентное вхождение редкоземельных ионов-активаторов в структуру кристалла флюорита и механизмы зарядовой компенсации такого вхождения. Возникающие при этом точечные дефекты и их влияние на спектрально-люминесцентные свойства кристаллов.
7. Основные способы выращивания кристалла флюорита, используемые материалы тиглей, атмосферы, вещества-чистильщики. Характерные дефекты в кристалле.
8. Составы, структурные особенности и свойства кристаллов семейства  $\text{LnLiF}_4$ . Применение данных кристаллов.
9. Квази-бинарная фазовая диаграмма системы  $\text{LiF} - \text{YF}_3$ , характер плавления кристалла YLF.
10. Выращивание кристалла YLF: методы, материалы тиглей, исходные составы расплавов, коэффициенты распределения примесей между кристаллом и расплавом. Ростовые проблемы и пути их решения, характерные дефекты в кристаллах

#### **Раздел 5:**

1. Сущность прямого и обратного пьезоэлектрических эффектов и области применения этих эффектов. Особые виды симметрии кристаллов, в которых возможны данные эффекты.
2. Структурные модификации  $\text{SiO}_2$  и полиморфные переходы между ними. Важнейшие свойства кристалла кварца. Величина и знак пьезоэлектрического эффекта в различных кристаллографических направлениях кристалла кварца.
3. Выращивание кристаллов кварца гидротермальным методом, используемые технологические режимы и минерализаторы. Характерные дефекты в кристаллах
4. Кристалл титанил-фосфата калия. Преимущества и недостатки кристалла, важнейшие свойства и основные области его применения.
5. Кристаллическая структура титанил-фосфата калия. Точка Кюри и фазовый переход между пара- и сегнетоэлектрической фазой, изменения в структуре, происходящие в рамках такого перехода.
6. Подвижность ионов калия в структуре кристалла титанил-фосфата калия, возникающая при этом проблема «серых следов», борьба с этим явлением.
7. Получение кристаллов титанил-фосфата калия гидротермальным способом. Технологические режимы. Виды используемых минерализаторов, их преимущества и недостатки. Размеры и качество получаемых кристаллов.
8. Получение кристаллов титанил-фосфата калия методом из раствора в расплаве. Используемые высокотемпературные растворители, их преимущества и недостатки. Размеры и качество получаемых кристаллов.
9. Преимущества и недостатки, основные области применения кристалла трибората лития. Физико-химические свойства кристалла, температура и характер его плавления.
10. Структура кристалла трибората лития, формы координационных полиэдров вокруг ионов бора, преимущества кристалла, являющееся следствием данных форм.

11. Оптические и нелинейно-оптические характеристики кристалла трибората лития, достигнутое на сегодняшний день оптическое качество образцов кристалла. Некритический фазовый синхронизм в данных кристаллах.
12. Выращивание кристалла трибората лития с помощью раствор-расплавных технологий. Применяемые высокотемпературные растворители, их преимущества и недостатки. Ростовые параметры и режимы.

#### **Раздел 6:**

1. Структура кристалла железо-иттриевого граната, валентные состояния и виды структурной локализации ионов железа в кристалле, обусловленный этим тип магнитной упорядоченности кристалла.
2. Основные физико-химические и оптические свойства кристалла железо-иттриевого граната. Удельное вращение и магнито-оптический ФОМ, их спектральная зависимость.
3. Выращивание кристалла железо-иттриевого граната из раствора в расплаве. Основной используемый вид высокотемпературных растворителей, его преимущества и недостатки, альтернативные растворители. Технологические режимы роста.
4. Получение эпитаксиальных пленок железо-иттриевого граната: методы получения, используемые подложки, ориентация их рабочей поверхности.
5. Основные виды применения кристалла и пленок железо-иттриевого граната, основанные на явлении Фарадеевского вращения. Устройство и принцип действия магнито-оптического изолятора.
6. Ферромагнитный резонанс, его добротность и возможности частотной перестройки в кристалле железо-иттриевого граната. Практические применения ферромагнитного резонанса в кристалле железо-иттриевого граната.

### **8.3.3 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (3-й семестр – экзамен).**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по разделам 7 и 8 рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. 1-й вопрос – 10 баллов, вопрос 2 – 15 баллов, вопрос 3 – 15 баллов. Полный перечень вопросов содержится в Фонде оценочных средств по дисциплине. Примеры контрольных вопросов по разделам:

#### **Раздел 7:**

1. Явление сцинтилляции. Основные виды взаимодействий частиц (квантов) высоких энергий с веществом, приводящие к сцинтилляции.
2. Устройство сцинтилляционных датчиков и роль сцинтиллирующих кристаллов в этих датчиках. Важнейшие сцинтилляционные характеристики кристаллов.
3. Радиационная стойкость кристаллов сцинтилляторов, основные механизмы обратимой и необратимой деградации кристаллов под действием ионизирующих излучений.
4. Кристаллическая структура и важнейшие физико-химические свойства щелочно-галлоидных сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl), CsI(Tl).
5. Важнейшие сцинтилляционные свойства кристаллов NaI(Tl) и CsI(Tl), их преимущества и недостатки. Зависимость сцинтилляционных характеристик данных кристаллов от примесной чистоты.
6. Основные методы выращивания и дальнейшей оптической обработки кристаллов NaI(Tl) и CsI(Tl). Важнейшие технологические параметры. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов.
7. Структура сцинтилляционного кристалла ортосиликата лютеция, активированного

ионами церия  $\text{Ce}^{3+}:\text{Lu}_2\text{SiO}_5$ , распределение активатора по неэквивалентным кристаллографическим позициям матрицы. Важнейшие физико-химические свойства данного кристалла.

8. Спектральные и сцинтилляционные характеристики кристалла ортосиликата лютеция, активированного ионами церия  $\text{Ce}^{3+}:\text{Lu}_2\text{SiO}_5$ , его преимущества и недостатки. Причины и механизмы длительного послесвечения в кристалле.
9. Выращивание кристалла  $\text{Ce}^{3+}:\text{Lu}_2\text{SiO}_5$ , технологические ростовые параметры. Коэффициент распределения церия между кристаллом и расплавом. Технологические приемы, позволяющие продлить сроки службы тиглей, используемых при выращивании.
11. Послеростовой отжиг кристаллов  $\text{Ce}^{3+}:\text{Lu}_2\text{SiO}_5$ . Характерные дефекты в кристаллах и борьба с ними. Достигнутые на сегодняшний день размеры кристаллов.

#### **Раздел 8:**

13. Основные этапы изготовления кварцевых оптических волокон. Заготовка для вытягивания оптоволокна, ее предназначение, форма и химический состав.
14. Общие требования к примесной чистоте реактивов, используемых для производства оптических кварцевых волокон, а также к чистоте помещений, в которых изготавливаются заготовки. Негативная роль влаги, и способы избавления от нее при изготовлении заготовок.
15. Суть и техническое исполнение метода «порошок в трубе», применяемого при изготовлении заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна. Преимущества, недостатки и области применения данного метода.
16. Изготовление заготовок для многосердцевинных волокон и волокон с полыми сердцевинами методом «порошок в трубе».
17. Суть и техническое исполнение вертикального осевого парофазного осаждения как метода изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна. Этапы процесса, преимущества, недостатки и области применения данного метода.
18. Суть и техническое исполнение наружного парофазного осаждения как метода изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна. Этапы процесса, преимущества, недостатки и области применения данного метода.

#### **8.4. Структура и примеры билетов для экзамена (2 и 3 семестры).**

Экзамены по дисциплине «Монокристаллы для фотоники и электроники» проводятся во 2 и 3 семестрах и включают контрольные вопросы по разделам 4-6 (2-й семестр) и 7-8 (3-й семестр) рабочей программы дисциплины. Билет для обоих экзаменов состоит из трех вопросов, относящихся к указанным разделам.



Пример билета для экзамена во 2-м семестре:

<p>«Утверждаю» Зав. кафедрой ХТК _____ И.Х.Аветисов (Подпись) «__» _____ 20__ г.</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология Магистерская программа – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Наименование дисциплины - «Монокристаллы для фотоники и электроники», 2-й семестр</b>
<p align="center"><b>Билет № 1</b></p> <p>1. Вопрос: Пирогидролиз монокристаллов фторидов и его влияние на оптическое качество и спектральные характеристики образцов. Способы борьбы с пирогидролизом.</p> <p>2. Вопрос: Кристаллическая структура титанил-фосфата калия. Точка Кюри и фазовый переход между пара- и сегнетоэлектрической фазой, изменения в структуре, происходящие в рамках такого перехода.</p> <p>3. Вопрос: Выращивание кристалла железо-иттриевого граната из раствора в расплаве. Основной используемый вид высокотемпературных растворителей, его преимущества и недостатки, альтернативные растворители. Технологические режимы роста.</p>	

Пример билета для экзамена в 3-м семестре:

<p>«Утверждаю» Зав. кафедрой ХТК _____ И.Х.Аветисов (Подпись) «__» _____ 20__ г.</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология Магистерская программа – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Наименование дисциплины - «Монокристаллы для фотоники и электроники», 3-й семестр</b>
<p align="center"><b>Билет № 3</b></p> <p>1. Вопрос: Радиационная стойкость кристаллов сцинтилляторов, основные механизмы обратимой и необратимой деградации кристаллов под действием ионизирующих излучений.</p> <p>2. Вопрос: Выращивание кристалла <math>\text{Ce}^{3+}:\text{Lu}_2\text{SiO}_5</math>, технологические ростовые параметры. Коэффициент распределения церия между кристаллом и расплавом. Технологические приемы, позволяющие продлить сроки службы тиглей, используемых при выращивании.</p> <p>3. Вопрос: Суть и техническое исполнение вертикального осевого парофазного осаждения как метода изготовления заготовок для вытягивания кварцевого оптоволокна. Этапы процесса, преимущества, недостатки и области применения данного метода.</p>	

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Н. И. Леонюк, Е. В. Копорулина, Е. А. Волкова, В. В. Мальцев. Кристаллография: зарождение, рост и морфология кристаллов : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры . М.: Издательство Юрайт, 2018, 152 с.
2. Курс лекций «Кристаллография». 03.09.2019 [электронный ресурс] — Режим доступа: <http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/> (дата обращения: 12.04.2023)
3. А. А. Майер. Процессы роста кристаллов. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1999, 176 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. 1. Выращивание кристаллов и волокон из расплава. Под ред. Ц. Фукуды, П. Рудольфа, С. Уды. Пер. с англ., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 368 с.
2. Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М.: Высшая школа, 1990, 424 с.
3. А.А. Блистанов. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. Учебное пособие для ВУЗов, 2-ое издание. М.: МИСИС, 2007, 432с.
4. К.-Т. Вильке. Выращивание крситаллов. Л.: Недра, 1977, 600 с.
5. Х.С. Багдасаров. Высокотемпературная кристаллизация из расплава. М.: Физматлит, 2004, 160 с.
- 6.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Optical Materials» , ISSN 0925-3467
- Журнал «Journal of Crystal Growth», ISSN 0022-0248
- Журнал «Crystal Research and Technology», ISSN 0232-1300
- Журнал «Cryst. Eng.Comm.» , ISSN 1466-8033
- Журнал «Journal of Non-Crystalline Solids», ISSN 0022-3093
- Журнал «European Journal of Inorganic Chemistry», ISSN 1434-1948
- Журнал «Кристаллография», ISSN 0023-4761
- Журнал «Неорганические материалы» , ISSN 0002-337X
- Журнал «Журнал неорганической химии» , ISSN 0044-457X
- Журнал «Журнал экспериментальной и теоретической физики» , ISSN 0044-4510
- Журнал «Физика твердого тела» , ISSN 0367-3294

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных лекций – 25, (общее число слайдов 328);
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 600);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 120).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Монокристаллы для фотоники и электроники»* проводятся в форме лекций, практических и лабораторных занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

3. Лекционная учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; учебная аудитория для проведения практических занятий, оборудованная электронными средствами демонстрации; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для студентов магистратуры, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет. Лабораторное помещение, оснащенное стендами для проведения лабораторных работ

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

1. Трехмерные макеты кристаллических структур

### 11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:

1. Персональный компьютер (ноутбук) с установленным на него программным пакетом Microsoft Office либо другим программным пакетом аналогичного функционала.
2. Монитор размером не менее 22 дюймов, либо компьютерный проектор и экран

### 11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> Важнейшие монокристаллы полупроводников, их свойства, методы получения и сферы применения	<i>Знает:</i> – Важнейшие современные полупроводниковые монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения  <i>Умеет:</i> – грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик монокристаллов полупроводников, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований – правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких	Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)  Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (1 семестр)

	<p>экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</p> <p>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост кристаллов полупроводников, квантовая и физическая электроника.</p> <p>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиков и технического персонала) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</p>	
<p><b>Раздел 2.</b> Важнейшие функциональные монокристаллы, их свойства, методы получения и сферы применения</p>	<p><i>Знает:</i></p> <p>– Важнейшие современные функциональные монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения</p> <p><i>Умеет:</i></p> <p>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам исследований функциональных монокристаллов</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост функциональных монокристаллов, оптика, нанотехнологии</p> <p>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-</p>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (1 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (1 семестр)</p>

	<p>технической литературы информации по физическому материаловедению, росту функциональных монокристаллов, оптике, нанотехнологиям, по соответствующим разделам химии, физики и физической химии твердого состояния, физической электроники. Быть способным выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения конкретной тематики исследования моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения</p>	
<p><b>Раздел 3.</b> Важнейшие оксидные лазерные и рамановские монокристаллы, их свойства, методы получения и сферы применения</p>	<p><i>Знает:</i> – Важнейшие современные оксидные лазерные монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения – Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных оксидных монокристаллических материалов для квантовой электроники <i>Умеет:</i> – грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик оксидных лазерных монокристаллов, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований – правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</p>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (_ семестр) Оценка за лабораторный практикум (3 семестр)  Оценка за зачет с оценкой (1 семестр)</p>

	<p>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост оксидных монокристаллов, квантовая электроника, оптическая и рамановская спектроскопия.</p> <p>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиков и технического персонала) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</p>	
<p><b>Раздел 4.</b> Важнейшие лазерные кристаллы фторидов</p>	<p><i>Знает:</i></p> <p>– Важнейшие современные фторидные оптические и лазерные монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения</p> <p>– Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных фторидных монокристаллических материалов для оптики и квантовой электроники.</p> <p><i>Умеет:</i></p> <p>– грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик фторидных монокристаллов, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований</p> <p>– правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких</p>	<p>Оценка за контрольную работу №4 (2 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторный практикум (3 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (2 семестр)</p>

	<p>экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</p> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост фторидных монокристаллов, квантовая электроника, оптическая и рамановская спектроскопия.</li> <li>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, росту монокристаллов простых и сложных фторидов, квантовой электронике, оптической и рамановской спектроскопии, по соответствующим разделам химии, физики и физической химии твердого состояния, физической электроники. Быть способным выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения конкретной тематики исследования моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения</li> </ul>	
<p><b>Раздел 5.</b> Пьезо- и сегнетоэлектрики, нелинейно-оптические кристаллы</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Важнейшие современные нелинейно-оптические монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения</li> <li>– Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных монокристаллических материалов для нелинейной оптики</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p>	<p>Оценка за контрольную работу №5 (2 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторный практикум (3 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (2 семестр)</p>



	<p>– грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик монокристаллов пьезо- и сегнетоэлектриков, а также нелинейно-оптических монокристаллов, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований</p> <p>– правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</p> <p>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост нелинейно-оптических кристаллов, физическая и нелинейная оптика</p> <p>– ...</p>	
--	--	--

<p><b>Раздел 6.</b> Магнитные и магнитооптические кристаллы</p>	<p><i>Знает:</i> – Важнейшие современные магнито-оптические монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения – Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных монокристаллических материалов для магнито-оптики</p> <p><i>Умеет:</i> – грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик магнитооптических монокристаллов, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований – правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</p> <p><i>Владеет:</i> – основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, рост магнито-оптических кристаллов, квантовая электроника, магнетизм и магнито-оптика – навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, росту магнитооптических кристаллов,</p>	<p>Оценка за контрольную работу №6 (2 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (2 семестр)</p>
---	---	---

	<p>магнетизму и магнито-оптике, по соответствующим разделам химии, физики и физической химии твердого состояния, физической электроники. Быть способным выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения конкретной тематики исследования моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения – навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиков и технического персонала) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</p>	
<p><b>Раздел 7.</b> Сцинтилляционные кристаллы</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Важнейшие современные сцинтилляционные монокристаллы, их основные свойства, технологию производства и сферы применения</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– грамотно поставить эксперимент по выращиванию, а также исследованию структурных, физико-химических, кристаллохимических, термомеханических и иных характеристик монокристаллов сцинтилляторов, в том числе – корректно произвести подготовку выращенного образца к тому или иному виду его исследований</li> <li>– правильно интерпретировать и проанализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе – критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</li> <li>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №7 (3 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (3 семестр)</p>

	<p>результатам таких экспериментов</p> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиков и технического персонала) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 8.</b> Волоконно-оптические материалы</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Основные типы оптических волокон, их основные свойства, технологию производства и сферы применения</li> <li>– Основные современные проблемы материаловедения в области создания новых и совершенствования традиционных волоконно-оптических материалов</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам исследований свойств новых волоконно-оптических материалов.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, получение оптических волокон, квантовая электроника, волоконная оптика</li> <li>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, по получению оптических волокон, квантовой электронике, волоконной оптике, по соответствующим разделам химии, физики и физической химии твердого состояния, физической электроники. Быть способным выделить в большом объеме научно-технической информации важные с</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №8 (3 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (3 семестр)</p>

	<p>точки зрения конкретной тематики исследования моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения</p>	
--	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);

- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины**  
**«Монокристаллы для фотоники и электроники»**

**основной образовательной программы**

**18.04.01 Химическая технология**

код и наименование направления подготовки (специальности)

**«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**



Программа составлена:

Д.х.н., профессором кафедры химии и технологии кристаллов О.Б. Петровой

К.х.н., доцентом кафедры химии и технологии кристаллов Е.Н. Можевитиной

К.х.н., доцентом кафедры химии и технологии кристаллов М.П. Зыковой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **химии и технологии кристаллов** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Обработка результатов физико-химического анализа материалов»** относится к части дисциплин учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области неорганического материаловедения, в частности в области технологии полупроводниковых и диэлектрических кристаллов и других материалов электронной техники. Также дисциплина неразрывно связана со знаниями, полученными обучающимися в курсе «Методы исследования материалов электроники и фотоники» в рамках обучения в бакалавриате по профилю «Технология материалов и изделий электронной техники и наноэлектроники».

**Цель дисциплины** – состоит в обучении студентов магистратуры знаниям, умениям и навыкам использования информации, ее обработки и интерпретации, а также практическое освоение современных методов исследований.

**Задачи дисциплины:**

- знакомство студентов магистратуры с современными методами обработки и представления результатов исследований
- знакомство студентов с современными программными продуктами для обработки результатов исследований
- знакомство студентов с современными программными продуктами моделирования процессов и свойств материалов электроники и фотоники.

Дисциплина **«Обработка результатов физико-химического анализа материалов»** преподается в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

## Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-3 Способен применять современные приборы и методы исследования, планировать, организовывать и проводить эксперименты и испытания, корректно обрабатывать и анализировать полученные результаты	ПК-3.1 Знает экспериментальные методы и их приборное и аппаратное оформление для исследования веществ и материалов -  ПК-3.2 Умеет организовывать проведение экспериментов и испытаний веществ и материалов  ПК-3.3 Владеет приемами обработки, анализа и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)  Обобщенная трудовая функция  Разработка конструкции и технологии изготовления новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).

				<p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	---

<p>Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	<p>ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники</p>	<p>ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии</p>
---	---	--	---	--

				<p>производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
Выполнение фундаментальных и прикладных работ	Химическое, химико-технологическое	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ	ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на

<p>поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	<p>научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>характеристик материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной</p>
---	--	--	---	--

				<p>защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7</p> <p>Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	--



В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

**Знать:**

- Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются изделия электроники.
- Возможности численного моделирования диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных систем.
- Современные системы сканирующей электронной микроскопии, их характеристики и возможно решения тех или иных задач по анализу морфологии.
- Современные аппаратные решения для исследований структуры и фазового состава материалов методами рентгеновской дифракции
- Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов

**Уметь:**

- Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются материалы и изделия электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.
- Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета многокомпонентных диаграмм фазовых равновесий.
- Подготавливать образцы для проведения электронно-микроскопического анализа и интерпретировать результаты проведенного морфологического, элементного и фазового анализов.
- Подготавливать, проводить съемку и проводить количественный анализа спектров рентгеновской дифракции порошковых кристаллических и аморфных материалов.
- Подготавливать образцы, проводить съемку и компьютерную обработку спектров фотolumинесценции, комбинационного рассеяния света, оптического поглощения в видимой и ИК области.

**Владеть:**

- Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ,
- Современными методами анализа морфологии, структуры, фазового и элементного составов материалов на основе конденсированных фаз индивидуальных веществ и химических соединений.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>25,5</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>0,25</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
Лекции	0,25	8	6
Практические занятия (ПЗ)	0,75	26	19,5
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>0,25</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2</b>	<b>74</b>	<b>55,5</b>
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		73,6	55,2
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Зачет с оценкой</b>		

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	в т.ч. в форме пр. подг.)	Лекции	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
1.	Раздел 1. Информационные системы и системы численного моделирования по фазовым равновесиям термодинамических систем	22	2	2	2	2	18
2.	Раздел 2. Экспериментальные методы анализа структуры и состава	30	-	2	10	-	18
3.	Раздел 3. Экспериментальные методы анализа микропримесного анализа материалов для фотоники и электроники.	20	2	2	4	2	14
4.	Раздел 4. Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик материалов для фотоники и электроники.	36	4	2	10	4	24
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>8</b>	<b>74</b>

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Информационные системы и системы численного моделирования по фазовым равновесиям термодинамических систем.**

Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления изделий электроники и фотоники.

Современные системы численного моделирования диаграмм фазовых равновесий и их использование для выбора условий получения материалов с заданными свойствами.

### **Раздел 2. Экспериментальные методы анализа структуры и состава гетерофазных пленочных структур.**

Экспериментальные методы исследования материалов электронной техники с помощью электронной микроскопии. Возможности современных сканирующих электронных микроскопов с различными системами формирования энергетических пучков. Особенности математической обработки сигналов электронных и ионных систем анализа поверхности материалов. Методы анализа фазового, структурного и элементного состава в современных системах сканирующей электронной микроскопии. Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения.

Сравнительный анализ возможностей современных систем рентгеновской дифракции. Особенности программного обеспечения для обработки результатов дифрактограмм кристаллических, аморфных и наноразмерных объектов.

### **Раздел 3. Экспериментальные методы анализа микропримесного анализа материалов для фотоники и электроники.**

Экспериментальные методы исследования материалов микропримесного состава материалов для фотоники и электроники включают методы масс-спектрометрии с различными вариантами пробоподготовки. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Масс-спектрометрия с плазмой тлеющего разряда. Вторично-ионная масс-спектрометрия. Особенности пробоподготовки препаратов для проведения анализов. Обработка интерференций в масс-спектрометрических исследованиях. Работа со стандартными образцами.

### **Раздел 4. Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик материалов для фотоники и электроники.**

Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов для фотоники и электроники. Математическая обработка спектральных и спектрально-кинетических данных. Причины уширения спектров люминесценции – однородное и неоднородное уширение. Штарковское расщепление линий. Спектры люминесценции многоцентровых материалов. Разложение спектров на элементарные компоненты. Отделение линий штарковских компонент одного центра от линий, образованных разными центрами свечения.

Кинетика затухания люминесценции, разрешенные и неразрешенные переходы. Влияние на кинетику кооперативных процессов и ион-ионного взаимодействия. Влияние на кинетику температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции. Расчет квантового выхода. Построение кинетических кривых и расчет времени жизни сложных, многоцентровых люминофоров.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	<b>Знать:</b>				
1	– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники.	+			
2	– Возможности численного моделирования диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных систем.	+			
3	– Современные системы сканирующей электронной микроскопии, их характеристики и возможно решения тех или иных задач по анализу морфологии.		+		
4	– Современные аппаратные решения для исследований структуры и фазового состава материалов методами рентгеновской дифракции		+		
5	– Экспериментальные методы определения микропримесного состава объемных и тонкопленочных препаратов			+	
6	– Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов				+
	<b>Уметь:</b>				
7	– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.	+			
8	– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета многокомпонентных диаграмм фазовых равновесий.	+			
9	– Подготавливать образцы для проведения электронно-микроскопического анализа и интерпретировать результаты проведенного морфологического, элементного и фазового анализов.		+		
10	– Подготавливать, проводить съемку и проводить количественный анализа спектров рентгеновской дифракции порошковых кристаллических и аморфных материалов.		+		
11	– Подготавливать образцы для проведения масс-спектральных исследований			+	

12	– Подготавливать образцы, проводить съемку и компьютерную обработку спектров фотолюминесценции, комбинационного рассеяния света, оптического поглощения в видимой и ИК области.				+
<b>Владеть:</b>					
13	– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники,	+			
14	– Современными методами анализа морфологии, структуры, фазового и элементного и микропримесного составов конденсированных фаз индивидуальных веществ и химических соединений.		+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u>					
	<b>Код и наименование ОПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ОПК</b>			
17	ПК-3 Способен применять современные приборы и методы исследования, планировать, организовывать и проводить эксперименты и испытания, корректно обрабатывать и анализировать полученные результаты	ПК-3.1 Знает экспериментальные методы и их приборное и аппаратное оформление для исследования веществ и материалов -	+	+	+
18		ПК-3.2 Умеет организовывать проведение экспериментов и испытаний веществ и материалов	+	+	+
19		ПК-3.3 Владеет приемами обработки, анализа и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+
20	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники	+	+	+
21		ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами -	+	+	+

22	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных характеристик материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	+	+	+	+
----	---	--	---	---	---	---

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Учебным планом подготовки студентов магистратуры по направлению 18.04.01 предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Физическая химия материалов для гетерофазных пленочных структур различного функционального назначения» в объеме 26 часов (0.7 зач. ед.). Практические занятия проводятся под руководством преподавателя и направлены на углубление теоретических знаний, полученных студентом магистратуры на лекционных занятиях, формирование понимания связей между теоретическими положениями химической технологии и методологией решения практических задач по тематике лекций, приобретение навыков применения теоретических знаний в практической работе.

Примерный перечень практических занятий:

№ пп	Раздел	Темы практических занятий	Часы
1	1.	– Освоение компьютерных программ расчета и моделирования физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения приобретение навыков пользования ими.	1
2		– Освоение систем численного моделирования диаграмм фазовых равновесий для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.	1
3	2.	– Освоение режимов работы и приобретение навыков пробоподготовки, выбора режима съемки и обработки результатов сканирующей электронной микроскопии	4
4		– Обработка результатов энергодисперсионного анализа при исследовании образцов в сканирующем электронном микроскопе.	3
5		– Освоение режимов работы и приобретение навыков пробоподготовки образцов для проведение фазового и структурного анализа методом порошковой рентгеновской дифракции.	3
	3.	– Освоение методов пробоподготовки для проведения исследований микропримесного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой	2
		– Обработка результатов масс-спектральных исследований примесного состава	2
6	4.	– Освоение режимов работы и приобретение навыков пробоподготовки образцов для съемки спектров фотолюминесценции	5
7		– Освоение компьютерных программ обработки спектров фотолюминесценции и кинетики затухания люминесценции.	5

### 6.2 Лабораторные занятия

Не предусмотрены

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче *зачёта с оценкой* по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение 2 контрольных работ (максимальная оценка по 30 баллов), и зачета с оценкой (максимальная оценка 40 баллов).

### Контрольная 1

#### Раздел 1. Максимальная оценка – 15 баллов

1. Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения.
2. Современные системы численного моделирования диаграмм фазовых равновесий и их использование для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.

#### Раздел 2. Максимальная оценка – 15 баллов

1. Экспериментальные методы исследования материалов электронной техники и гетерофазных пленочных структур с помощью электронной микроскопии.
2. Возможности современных сканирующих электронных микроскопов с различными системами формирования энергетических пучков.
3. Особенности математической обработки сигналов электронных и ионных систем анализа поверхности материалов.
4. Методы анализа фазового, структурного и элементного состава в современных системах сканирующей электронной микроскопии.
5. Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения.
6. Возможности современных систем рентгеновской дифракции.



7. Особенности программного обеспечения для обработки результатов дифрактограмм кристаллических, аморфных и наноразмерных объектов.

## **Контрольная 2**

### **Раздел 3. Максимальная оценка – 15 баллов**

1. Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в виде твердых фаз
2. Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в форме растворов.
3. Особенности пробоподготовки твердых фаз для проведения исследований микропримесного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой
4. Способы борьбы с интерференциями пиков в методах масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и плазмой тлеющего разряда
5. Способы снижения пределов определения концентраций примесей в различных методах исследования микропримесного состава
6. Особенности количественного анализа микропримесного состава методом вторично-ионной масс-спектрометрии

### **Раздел 4. Максимальная оценка – 15 баллов**

1. Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов для фотоники и электроники.
2. Особенности математической обработки спектральных и спектрально-кинетических данных.
3. Причины уширения спектров люминесценции – однородное и неоднородное уширение.
4. Штарковское расщепление линий.
5. Спектры люминесценции многоцентровых материалов.
6. Разложение спектров на элементарные компоненты.
7. Кинетика затухания люминесценции
8. Влияние на кинетику затухания люминесценции кооперативных процессов и ион-ионного взаимодействия.
9. Влияние на кинетику затухания люминесценции температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции.
10. Расчет квантового выхода.
11. Построение кинетических кривых и расчет времени жизни сложных, многоцентровых люминофоров.

## **8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (зачет с оценкой)**

Максимальная оценка – 40 баллов.

1. Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения.

- 2 Современные системы численного моделирования диаграмм фазовых равновесий и их использование для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.
- 3 Экспериментальные методы исследования материалов электронной техники и гетерофазных пленочных структур с помощью электронной микроскопии.
- 4 Возможности современных сканирующих электронных микроскопов с различными системами формирования энергетических пучков.
- 5 Особенности математической обработки сигналов электронных и ионных систем анализа поверхности материалов.
- 6 Методы анализа фазового, структурного и элементного состава в современных системах сканирующей электронной микроскопии.
- 7 Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения.
- 8 Возможности современных систем рентгеновской дифракции.
- 9 Особенности программного обеспечения для обработки результатов дифрактограмм кристаллических, аморфных и наноразмерных объектов.
- 10 Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в виде твердых фаз
- 11 Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в форме растворов.
- 12 Особенности пробоподготовки твердых фаз для проведения исследований микропримесного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой
- 13 Способы борьбы с интерференциями пиков в методах масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и плазмой тлеющего разряда
- 14 Способы снижения пределов определения концентраций примесей в различных методах исследованиях микропримесного состава
- 15 Особенности количественного анализа микропримесного состава методом вторично-ионной масс-спектрометрии
- 16 Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов для фотоники и электроники.
- 17 Особенности математической обработки спектральных и спектрально-кинетических данных.
- 18 Причины уширения спектров люминесценции – однородное и неоднородное уширение.
- 19 Расчет квантового выхода.
- 20 Штарковское расщепление линий. Спектры люминесценции многоцентровых материалов. Разложение спектров на элементарные компоненты.
- 21 Кинетика затухания люминесценции. Влияние на кинетику затухания люминесценции кооперативных процессов и ион-ионного взаимодействия.
- 22 Влияние на кинетику затухания люминесценции температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции.

- 23 Построение кинетических кривых и расчет времени жизни сложных, многоцентровых люминофоров.

### 8.3. Структура и пример билетов для зачета с оценкой

Зачет с оценкой по дисциплине «Обработка результатов физико-химического анализа материалов» включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины.

Билет состоит из 2 вопросов, относящихся к разным разделам курса. Ответы на вопросы билета оцениваются из 40 баллов следующим образом: первый и второй вопросы – по 20 баллов каждый.

Пример экзаменационного билета:

<i>«Утверждаю» Зав. кафедры химии и технологии кристаллов</i>  _____ Аветисов И.Х.  «__» _____ 20__ г.	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Программа подготовки студентов магистратуры – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Обработка результатов физико-химического анализа материалов</b>
<b>Билет № 1</b>	
1. Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения	
2. Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения	
<i>«Утверждаю» Зав. кафедры химии и технологии кристаллов</i>  _____ Аветисов И.Х.  «__» _____ 20__ г.	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Программа подготовки студентов магистратуры – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Обработка результатов физико-химического анализа материалов</b>
<b>Билет № 2</b>	
1. Способы снижения пределов определения концентраций примесей в различных методах исследования микропримесного состава	
3. Влияние на кинетику затухания люминесценции температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции.	

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### *А. Основная литература*

1. И. В. Степанова, М. П. Зыкова, А. Э. Волошин, И. Х. Аветисов. Синхротронные, нейтронные и рентгеновские методы диагностики структуры функциональных материалов. Часть 1. Рентгеновские методы. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева Москва, 2022. — 120 с.
2. И. В. Степанова, М. П. Зыкова, А. Э. Волошин, П. П. Файков, and И. Х. Аветисов, Синхротронные, нейтронные и рентгеновские методы диагностики структуры функциональных материалов: в 2 ч. Часть 2. Синхротронные и нейтронные методы: учеб. пособие, М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева Москва, 2023 – 124 с.
3. И.Х. Аветисов, Е.Н. Можевитина, О.Б. Петрова Построение  $P$ – $T$ – $x$  диаграмм фазовых равновесий. Задачник: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 80 с.
4. В.А. Пустоваров Люминесценция и релаксационные процессы в диэлектриках, Учебное пособие по дисциплинам «Физика твердого тела» и «Физика конденсированного состояния» Екатеринбург 2015, Информационный портал УрФУ — URL: <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13420/1/Pustovarov.pdf> (дата обращения: 12.04.2023). — Режим доступа:- свободный доступ.
5. В. П. Зломанов, И. Х. Аветисов, Е. Н. Можевитина. Физическая химия твердого тела.  $P$ – $T$ – $x$  диаграммы фазовых равновесий: учеб. пособие, М., РХТУ, 2019, 184 с.
6. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур: учебное пособие /Тимофеев В.Б. — Издательство Лань 2015 - 512 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/56612> (дата обращения: 12.04.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### *Б. Дополнительная:*

1. П.В. Ковтуненко Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. – М.: Высшая школа, 1993.
2. А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, И.Х. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Теоретические основы и материалы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2010. 62с.
3. А.Ю. Зиновьев, И.Х. Аветисов, А.Г. Чередниченко Технология органических электролюминесцентных устройств. Гетероструктуры. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2011. 63с.
4. И.Х. Аветисов, А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, Р.И. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Технологические процессы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 64с.
5. В. П. Зломанов Фазовые равновесия. Химия дефектов в кристалле. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2011, 114с.

### 9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

Научно-технические журналы:

- Журнал «Оптика и спектроскопия», ISSN 0030-4034
- Журнал «Квантовая электроника», ISSN 0368-7147

- Журнал «Оптический журнал», ISSN 1023-5086
- Журнал «Optical Materials», ISSN 0925-3467
- Журнал «IEEE Journal of Quantum Electronics», ISSN 0018-9197
- Журнал «Journal of Crystal Growth», ISSN 0022-0248
- Журнал «Crystal Research and Technology», ISSN 0232-1300
- Журнал «Cryst. Eng. Comm.», ISSN 1466-8033
- Журнал «Journal of Non-Crystalline Solids», ISSN 0022-3093
- Журнал «European Journal of Inorganic Chemistry», ISSN 1434-1948
- Журнал «Кристаллография», ISSN 0023-4761
- Журнал «Неорганические материалы», ISSN 0002-337X
- Журнал «Журнал неорганической химии», ISSN 0044-457X
- Журнал «Журнал экспериментальной и теоретической физики», ISSN 0044-4510
- Журнал «Физика твердого тела», ISSN 0367-3294

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных практических занятий – 18;
- комплекты образцов полупроводниковых и диэлектрических кристаллов, органических и неорганических люминофоров, других материалов электронной техники – 4;
- комплект приборов электронной техники (электровакуумные приборы и полупроводниковые приборы) – 2;
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 51);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 17).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Обработка результатов физико-химического анализа материалов»* проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

*Оборудование для анализа примесного состава материалов.*

Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой NexION 300D (Perkin Elmer) с системами высокочистого вскрытия проб с помощью микроволнового и термического автоклавирования.

Вторично-ионный масс-спектрометр с время-пролетным масс-анализатором MiniSIMS (MILLBROOK Ltd.)

*Оборудование для проведения спектральных исследований:*

Спектрофотометр UNICO 2800 (190-1100 нм);

ИК-Фурье спектрометр Tensor-27 (Bruker GmbH).

Спектрофотометрический комплекс Ocean Optics, в составе 2 спектрофотометров видимого диапазона, рамановского спектрометра (200-2000 см<sup>-1</sup>) с возбуждающим излучением 785 нм, спектрометра ближнего ИК диапазона NIR Quest (700-1750 нм), с интегрирующими сферами и оптоволоконными соединительными кабелями, светодиодными и лазерными источниками возбуждения в диапазоне 257- 978 нм.

Комплекс оборудования для проведения исследований спектрально-люминесцентных характеристик Fluorolog FL-22 (Horiba Jobin Yvon) с системой анализа кинетики затухания люминесценции

*Оборудование для исследования образцов методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа – VEGA-3 LUMO (Tesla Inc.) и INCA Energy 3-D MAX (Oxford Instruments).*

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Модели молекул и кристаллов для демонстрации типов колебаний при составлении колебательного представления в методах спектроскопии КР и ИК..

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет..

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

#### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	OriginPro 8.1 Department Wide License	Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10	1 лицензия для активации на рабочих станциях	бессрочная
2.	Неисключительная лицензия на использование SOLIDWORKS EDU Edition 2019-2020 Network - 200 Users	Контракт № 28-35ЭА/2020 от 26.05.2020	1 (одна) сетевая лицензия на 200 пользователей	бессрочно
3.	Компас-3D v18 на 50 мест. Проектирование и конструирование в машиностроении, лицензия.	Контракт № 28-35ЭА/2020 от 26.05.2020	2 лицензии на учебный комплект программного обеспечения для проектирования и конструирования в машиностроении, рассчитанные на активацию на 50 мест каждая.	бессрочно

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p>Раздел 1.</p> <p>Информационные системы и системы численного моделирования по фазовым равновесиям термодинамических систем</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники.</li> <li>– Возможности численного моделирования диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных систем.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.</li> <li>– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета многокомпонентных диаграмм фазовых равновесий.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники,</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1</p> <p>Оценка за зачет</p>
<p>Раздел 2.</p> <p>Экспериментальные методы анализа структуры и состава гетерофазных пленочных структур</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные системы сканирующей электронной микроскопии, их характеристики и возможно решения тех или иных задач по анализу морфологии.</li> <li>– Современные аппаратные решения для исследований структуры и фазового состава материалов методами рентгеновской дифракции</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Подготавливать образцы для проведения электронно-микроскопического анализа и интерпретировать результаты проведенного морфологического, элементного и фазового анализов.</li> <li>– Подготавливать, проводить съемку и проводить количественный анализа спектров рентгеновской дифракции порошковых кристаллических и аморфных</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1</p> <p>Оценка за зачет 2</p>



	<p>материалов.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <p>– Современными методами анализа морфологии, структуры, фазового и элементного составов материалов на основе конденсированных фаз индивидуальных веществ и химических соединений.</p>	
<p>Раздел 3.</p> <p>Экспериментальные методы анализа микропримесного анализа материалов для фотоники и электроники.</p>	<p><b>Знает:</b></p> <p>– Экспериментальные методы определения микропримесного состава объемных и тонкопленочных препаратов.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <p>– Подготавливать образцы для проведения масс-спектральных исследований.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <p>Современными методами анализа морфологии, структуры, фазового и элементного составов материалов на основе конденсированных фаз индивидуальных веществ и химических соединений.</p>	<p>Оценка за контрольную работу №2</p> <p>Оценка за зачет</p>
<p>Раздел 4.</p> <p>Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик материалов для фотоники и электроники.</p>	<p><b>Знает:</b></p> <p>– Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов</p> <p><b>Умеет:</b></p> <p>– Подготавливать образцы, проводить съемку и компьютерную обработку спектров фотолюминесценции, комбинационного рассеяния света, оптического поглощения в видимой и ИК области.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <p>– Современными методами анализа морфологии, структуры, фазового и элементного составов материалов на основе конденсированных фаз индивидуальных веществ и химических соединений.</p>	<p>Оценка за контрольную работу №2</p> <p>Оценка за зачет</p>

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Обработка результатов физико-химического анализа материалов»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология

магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Основы фотоники»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

К.т.н., доцентом кафедры химии и технологии кристаллов, К.А.Субботиным

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 18.04.01.68 Химическая технология, магистерская программа: Технология функциональных материалов электроники и фотоники (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина «Основы фотоники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области таких разделов физики, как оптика (в том числе, кристаллооптика), электростатика и электродинамика, магнетизм, теория распространения электромагнитных волн, квантовая механика, физическая электроника, кристаллография, а также теоретические основы химии и высшая математика.

**Цель дисциплины** – изучение основных физических явлениях и процессов, протекающих в активных и пассивных элементах твердотельных и волоконных лазеров, волоконно-оптических, электро-оптических и нелинейно-оптических устройств. Без таких знаний невозможны сознательные и эффективные подходы к разработке и организации технологий в сфере производства материалов и изделий фотоники.

**Задачи дисциплины:** формирование у обучающихся системных знаний и компетенций в области:

- принципов и основных режимов работы современных твердотельных и волоконных лазеров, спектральных, энергетических, пространственных и временных характеристик этих лазеров и основных требований к лазерным материалам;
- механизмов формирования стимулированного излучения в рабочих частицах твердотельных и волоконных лазеров;
- волоконной и нелинейной оптики.

Дисциплина «Основы фотоники» преподается в 1-м семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники  ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами -  ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и наноэлектроники с заданными свойствами	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н  Обобщенная трудовая функция  Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.

				<p>F/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p>
--	--	--	--	---



				<p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- Основные фундаментальные физические явления и закономерности, лежащие в основе функционирования твердотельных и волоконных лазеров и иных важнейших, изделий и приборов квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики
- Основные тенденции развития и современные проблемы физики лазеров, оптической спектроскопии, волоконной и нелинейной оптики;

*Уметь:*

- Качественно провести обзор имеющихся в современной научной литературе экспериментальных и теоретических данных по различным проблемам физики лазеров, оптической спектроскопии, волоконной и нелинейной оптики;
- Выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения области своих научных интересов моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения.
- грамотно поставить физический эксперимент по исследованию оптических (в том числе, нелинейно-оптических), спектрально-люминесцентных, лазерных генерационных и иных характеристик новых оптических материалов, в том числе – корректно произвести подготовку образца к тому или иному виду его исследований;
- правильно интерпретировать и анализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;
- подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов.

*Владеть:*

- основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, волоконная и нелинейная оптика, оптическая спектроскопия, физика лазеров, физическая электроника;
- навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, квантовой электронике, волоконной и нелинейной оптике, оптической спектроскопии, по соответствующим разделам общей физики, физической химии твердого состояния, физической электроники.
- навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиками и техническим персоналом) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины
--------------------	------------------

	<b>ЗЕ</b>	<b>Акад. ч.</b>	<b>Астр. ч.</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,5</b>	<b>51</b>	<b>38,25</b>
Лекции	1	34	25,5
Практические занятия (ПЗ)	0,5	17	12,75
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1,5</b>	<b>57</b>	<b>42,75</b>
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Экзамен</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Введение в физику лазеров</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
1.1	Основные понятия и определения в лазерной физике	5	0	2	0	1	0	0	0	2
1.2	Принцип работы лазеров, пороговое условие лазерной генерации, энергетические характеристики лазеров	6	0	2	0	1	0	0	0	3
1.3	Пространственные характеристики лазерного излучения, продольные и поперечные моды, режим синхронизации мод	6	0	2	0	1	0	0	0	3
1.4	Временные характеристики лазерного излучения, импульсные режимы генерации	4	0	2	0	0	0	0	0	2
1.5	Спектральные характеристики лазерного излучения, управление частотой лазерного излучения	4	0	1	0	1	0	0	0	2
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Оптическая спектроскопия материалов фотоники</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27</b>

2.1	Изолированные одно- и многоэлектронные атомы. Виды взаимодействий и энергетические уровни	10	0	3	0	1	0	0	0	6
2.2	Примесные ионы в конденсированной среде. Взаимодействие с матрицей.	6	0	1	0	2	0	0	0	3
2.3	Оптическое поглощение и фотолюминесценция, безызлучательная релаксация, междоузельные взаимодействия	7	0	2	0	1	0	0	0	4
2.4	Важнейшие редкоземельные ионы-активаторы для лазеров и люминофоров	13	0	5	0	2	0	0	0	6
2.5	Особенности спектрально-люминесцентных свойств 3d-ионов в конденсированных средах	5	0	1	0	1	0	0	0	3
2.6	Важнейшие 3d ионы-активаторы для лазеров и люминофоров	9	0	3	0	1	0	0	0	5
<b>3.</b>	<b>Раздел 3. Основы волоконной оптики</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
3.1	Особенности распространения света по волокну. Типы оптических волокон, оптические потери в волокне.	8	0	3	0	1	0	0	0	4
3.2	Важнейшие способы коммутации оптических волокон	3	0	0	0	1	0	0	0	2
3.3	Способы генерации и усиления оптических сигналов в волокнах	4	0	2	0	0	0	0	0	2
<b>4.</b>	<b>Раздел 4. Нелинейно-оптические явления в фотонике</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>

4.1	Причины возникновения и виды нелинейно-оптических явлений	3	0	1	0	0	0	0	0	2
4.2	Некогерентные нелинейно-оптические явления.	4	0	1	0	1	0	0	0	2
4.3	Когерентные нелинейно-оптические явления.	4	0	1	0	1	0	0	0	2
4.4	Многофотонные процессы	3	0	1	0	0	0	0	0	2
4.5	Вынужденное комбинационное рассеяние света, ВКР-лазеры и усилители	2	0	0	0	1	0	0	0	1
4.6	Магнито-оптические явления и их применение в фотонике	2	0	1	0	0	0	0	0	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>0</b>	<b>34</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>57</b>
	<b>Экзамен</b>	<b>36</b>								
	<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>								

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Введение в физику лазеров**

1.1. Основные понятия и определения в лазерной физике. Фотолюминесценция, вынужденная люминесценция, время жизни и квантовый выход, сечение люминесценции, оптическое поглощение из основного и возбужденного состояний. Когерентность. Основные типы лазеров, их преимущества и недостатки. Активная среда и рабочие частицы твердотельных лазеров, требования к ним. Виды накачки лазеров.

1.2. Конструкция и принцип работы лазера и оптического квантового усилителя. Порог генерации и пороговое условие генерации, коэффициент поглощения и коэффициент усиления активной среды, инверсная заселенность, трех- и четырехуровневая схема генерации, активные и пассивные потери. Энергетические характеристики лазеров: дифференциальный и полный КПД, максимальная мощность генерации, термомеханические и термооптические факторы, ограничивающие максимальную мощность генерации.

1.3. Пространственные характеристики лазерного излучения, диаметр и расходимость лазерного луча. Дифракционный предел, продольные и поперечные моды, Способы достижения одномодовой лазерной генерации. Получение ультра-коротких лазерных импульсов в режиме синхронизации мод и важнейшие методы достижения этого режима. Специальные требования к активной среде лазеров, работающих в режиме синхронизации мод. Дисперсия групповых скоростей и способы ее компенсации.

1.4. Временные характеристики лазерного излучения, непрерывная и импульсная генерация, полуширина импульса, скважность, частота следования импульсов. Режим свободных импульсов. Получение коротких лазерных импульсов высокой средней мощности в режиме модуляции добротности. Способы получения данного режима генерации. Активная и пассивная модуляция добротности. Обтюратор, ячейка Поккельса, акусто-оптический модулятор. Насыщающиеся поглотители.

1.5. Спектральные характеристики лазерного излучения. Спектр усиления активной среды и спектр генерации. Паразитное поглощение и поглощение из возбужденного состояния как факторы, ограничивающие диапазон генерации лазера. Способы управления частотой лазерного излучения, многочастотная генерация и ее применение. Плавная перестраиваемая по частоте лазерная генерация, способы такой перестройки, особые требования к активной среде перестраиваемых лазеров. Полуширина спектра люминесценции кристалла и диапазон перестройки генерации лазера на этом кристалле.

### **Раздел 2. Оптическая спектроскопия материалов фотоники**

2.1. Изолированные одно- и многоэлектронные атомы (ионы), квантовые числа, электронные оболочки и орбитали, спин. Основные виды взаимодействий, правила сложения орбитальных и спиновых моментов, принцип Паули и правила Хунда. Замкнутая и незамкнутая электронные оболочки, энергетические уровни, электронные термы и их обозначения, диаграмма энергетических уровней РЗ-ионов Дике.

2.2. Примесные атомы (ионы) в конденсированной среде. Запрещенная зона и локальные энергетические уровни примесных ионов. Штарковское расщепление электронных уровней примесных центров кристаллическим полем (полем лигандов) матрицы. Электронно-колебательное взаимодействие.

2.3. Оптическое поглощение. Электронные переходы и правила отбора. Электродипольные и магнитодипольные переходы. Вероятности переходов, сечения переходов, коэффициенты ветвления. Метод Джадда-Офельта. Основные виды люминесценции. Моноэкспоненциальный и непоноэкспоненциальный распад возбужденного состояния. Безызлучательная многофононная релаксация возбужденного состояния. Особенности спектральных переходов с переносом заряда и межкаонфигурационных переходов. Безызлучательный перенос энергии возбужденного состояния между оптическими центрами в твердых телах. Резонансный и нерезонансный,

обычный и кооперативный перенос. Факторы, определяющие эффективность различных видов переноса. Микропараметр донор-акцепторного взаимодействия. Ап-конверсия и кросс-релаксация как особые виды такого переноса. Пленение возбуждений. Концентрационное тушение люминесценции.

2.4. Важнейшие редкоземельные ионы-активаторы для лазеров и люминофоров. Иттрий как лазерный активатор. Преимущества и недостатки. Штарковское расщепление основного состояния  $\text{Yb}^{3+}$  и полуширины спектральных полос как важнейшие параметры активных сред, легированных Yb. Тулий как лазерный ион. Спектральная область генерации ионов тулия и сферы применения лазеров этого диапазона. Важнейшие схемы оптической накачки кристаллов легированных тулием. Гольмий как дополнительный активатор тулиевых лазеров. Эрбий как активатор для лазеров и усилителей. Спектральные области его генерации (усиления) и значения этих областей. Важнейшие схемы оптической накачки эрбиевых лазеров и усилителей, особенности динамики заселения и разгрузки различных энергетических уровней  $\text{Er}^{3+}$ . Роль со-активаторов в оптических средах, легированных эрбием. Неодим как лазерный ион. Спектральные переходы  $\text{Nd}^{3+}$ , используемые для лазерной генерации, диапазоны и области применения этой генерации. Самарий и диспрозий как активаторы для люминофоров. Условия, необходимые для получения лазерной генерации ионов  $\text{Dy}^{3+}$  в среднем ИК-диапазоне. Реализованные каналы генерации и используемые способы накачки. Применение когерентного излучения среднего ИК-диапазона.  $\text{Eu}^{3+}$  как активатор люминофоров. Термостимулированная люминесценция, ее механизмы и сферы применения. Особенности и области применения спектральных  $4f \leftrightarrow 5d$  – переходов в ионах  $\text{Eu}^{2+}$  и  $\text{Ce}^{3+}$ . Лазерная генерация ионов  $\text{Ce}^{3+}$  на  $4f \leftrightarrow 5d$  – переходе и проблемы ее получения. Особые требования к матрицам для твердотельных лазеров ультрафиолетового диапазона.

2.5. Особенности спектрально-люминесцентных свойств 3d-ионов в конденсированных средах. Превалирующие виды взаимодействий 3d- электронной оболочки в этих ионах.  $t_{2g}$  и  $e_g$  – орбитали. Теория кристаллического поля как способ описания и прогнозирования энергий электронных уровней 3d – ионов. Диаграммы Танабе-Сугано. Электронные и электронно-колебательные переходы в ионах группы железа.

2.6. Важнейшие 3d ионы-активаторы ( $\text{Ti}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{4+}$  и  $\text{Cr}^{2+}$ ) для люминофоров, а также перестраиваемых и фемтосекундных твердотельных лазеров, их сравнительные характеристики, преимущества и недостатки. Способы накачки и диапазоны генерации этих ионов. Двухвалентный кобальт в различных структурных локализациях как вид рабочих частиц активных и пассивных элементов лазерной техники. Особенности спектрально-люминесцентных характеристик трехвалентного хрома в сильном, среднем и слабом кристаллическом поле. Стабилизация валентного состояния  $\text{Ti}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{4+}$  ионов. Проблемы безызлучательной релаксации возбужденного состояния ионов  $\text{Cr}^{4+}$  и  $\text{Co}^{2+}$ .

### Раздел 3. Основы волоконной оптики

3.1. Особенности распространения света по волокну. Типы и конструкция оптических волокон, числовая апертура, длина волны отсечки. История развития волоконной оптики. Преимущества волоконно-оптической связи. Основные сферы применения оптических волокон. Модовая, хроматическая и волноводная дисперсии света в волокнах, основные причины затухания сигнала в волокнах и способы борьбы с ними. Сроки службы и стойкость волокон к различным воздействиям.

3.2. Важнейшие способы коммутации оптических волокон. Разъемные и неразъемные соединения волокон. Основные виды оптических соединителей и разветвителей, мультиплексоров, оптических переключателей. Оптические потери на соединениях и способы борьбы с ними.

3.3. Способы генерации и усиления оптических сигналов в волокнах. Конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки иттербиевых волоконных лазеров и эрбиевых



волоконных усилителей. Важнейшие пассивные оптические элементы (брэгговские зеркала, GTW-волокна).

#### **Раздел 4. Нелинейно-оптические явления в фотонике**

4.1. Причины возникновения и виды нелинейно-оптических явлений. Классификация и физическая сущность нелинейно-оптических явлений, когерентные, некогерентные и параметрические явления, квадратичная и кубическая нелинейность.

4.2. Эффект Поккельса и эффекты Керра. Керровская самофокусировка (саморасфокусировка), каналирование, схлопывание света в конденсированной среде. Физическая сущность и практические применения данных явлений. Прочие виды самофокусировки (саморасфокусировки) света в конденсированных средах. Самомодуляция и кросс-модуляция света в конденсированной среде.

4.3. Генерация высших гармоник лазерного излучения, суммарной и разностной частот, опыт Франкена. Параметрические генерация и усиление света. Физическая сущность и практические применения данных явлений. Ограничение на симметрию кристаллов, в которых возможны такие явления. Условие фазового синхронизма.

4.4. Многофотонные процессы. Отличия от каскадных процессов. Условие возникновения и квантово-механическое обоснование возможности протекания многофотонных процессов. Многофотонное оптическое поглощение, люминесценция, фотоионизация, оптический пробой.

4.5. Фононы, фононные моды, комбинационное рассеяние света. Вынужденное комбинационное рассеяние света, условия его возникновения. ВКР-лазеры и усилители, их конструкции и практическое применение.

4.6. Магнито-оптические явления и их применение в фотонике. Прямой и обратный эффекты Зеемана. Циркулярная поляризация света. Эффект Фарадея, его физическая сущность, конструкции и принцип работы фарадеевских изоляторов света, используемые для этого материалы.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	<b>Знать:</b>				
1	– Основные фундаментальные физические явления и закономерности, лежащие в основе функционирования твердотельных и волоконных лазеров и иных важнейших, изделий и приборов квантовой электроники, волоконной и нелинейной оптики	+	+	+	+
2	– Основные тенденции развития и современные проблемы физики лазеров, оптической спектроскопии, волоконной и нелинейной оптики	+	+	+	+
	<b>Уметь:</b>				
3	– Качественно провести обзор имеющихся в современной научной литературе экспериментальных и теоретических данных по различным проблемам физики лазеров, оптической спектроскопии, волоконной и нелинейной оптики;	+	+	+	+
4	– Выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения области своих научных интересов моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения;	+	+	+	+
5	– грамотно поставить физический эксперимент по исследованию оптических (в том числе, нелинейно-оптических), спектрально-люминесцентных, лазерных генерационных и иных характеристик новых оптических материалов, в том числе – корректно произвести подготовку образца к тому или иному виду его исследований;	+	+	+	+
6	– правильно интерпретировать и анализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;	+	+	+	+
7	– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов.	+	+	+	+
	<b>Владеть: (перечень из п.2)</b>				

8	– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, волоконная и нелинейная оптика, оптическая спектроскопия, физика лазеров, физическая электроника;		+	+	+	+
9	– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, квантовой электронике, волоконной и нелинейной оптике, оптической спектроскопии, по соответствующим разделам общей физики, физической химии твердого состояния, физической электроники;		+	+	+	+
10	– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиками и техническим персоналом) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.		+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:						
	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК				
11	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	+	+	+	+
		ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и нанoeлектроники с заданными функциональными свойствами	+	+	+	+
		ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами	+	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Предусмотрены практические занятия обучающегося в магистратуре в объеме 17 акад. ч. (раздел 1 – 4 акад. ч., раздел 2 – 8 акад. ч., раздел 3 – 2 акад. ч., раздел 4 – 3 акад. ч.)

Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Продольные и поперечные моды лазерного излучения. Режим синхронизации мод и способы его достижения	2
2	1	Режим модуляции добротности лазера, способы его достижения	2
3	2	Виды взаимодействий и энергетические уровни в изолированных атомах и ионах	2
4	2	Взаимодействие примесных ионов с матрицей	2
5	2	Оптическое поглощение и фотолюминесценция примесных ионов в конденсированных средах	2
6	2	Безызлучательный межцентровой энергообмен редкоземельных ионов в твердотельных матрицах	2
7	3	Важнейшие способы коммутации оптических волокон	2
8	4	Эффект Поккельса и эффекты Керра. Самофокусировка, самомодуляция и кросс-модуляция света в конденсированной среде	2
9	4	Многофотонные процессы в конденсированных средах	1

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам курса;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая публикации из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Physical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в научных мероприятиях РХТУ им. И. Менделеева по тематике курса;
- подготовку к сдаче экзамена по курсу.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из

литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов) и итогового контроля в форме экзамена (максимальная оценка 40 баллов).

### **8.1. Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

1. Продольные и поперечные моды лазерного излучения.
2. Режим синхронизации мод и способы достижения этого режима работы лазеров.
3. Режим модуляции добротности лазера, способы его достижения.
4. Виды взаимодействий и энергетические уровни в изолированных атомах и ионах
5. Взаимодействие примесных ионов с матрицей.
6. Оптическое поглощение и фотолюминесценция примесных ионов в конденсированных средах.
7. Безызлучательный межцентровой энергообмен редкоземельных ионов в твердотельных матрицах.
8. Важнейшие способы коммутации оптических волокон.
9. Эффект Поккельса и его применение в фотонике.
10. Эффекты Керра и их применение в фотонике.
11. Самомодуляция и кросс-модуляция света в конденсированной среде
12. Многофотонные процессы в конденсированных средах

### **8.2. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 3 теста (по 1 тесту на разделы 1 и 2 и один объединенный тест по разделам 3 и 4). Для каждого обучающегося каждый тест состоит из 10 вопросов, на каждый из которых предложено по 5 вариантов ответа. Среди этих пяти ответов правильными являются от 0 до 5 (т.е., может не оказаться ни одного правильного ответа, а могут правильными быть и все пять ответов). Максимальная оценка за каждый вопрос теста составляет 2 балла и ставится в случае, если тестируемый студент указал все правильные ответы и не указал ни одного неправильного ответа. За каждый неуказанный правильный ответ, а также ошибочно указанный неправильный ответ оценка снижается. Общая оценка за тест вычисляется как сумма всех набранных баллов за каждый вопрос теста. Максимальная оценка за каждый тест составляет 20 баллов, а за все три теста – 60 баллов.

#### **Раздел 1.**

**Примеры вопросов теста (правильные вопросы выделены жирным шрифтом)**

#### **Тест № 1.**

1. Что в физике лазеров понимают под термином «инверсная заселенность»?	а	Количество активных центров в возбужденном состоянии превышает количество активных центров в основном состоянии
	б	<b>Количество активных центров на</b>

		<b>верхнем лазерном уровне превышает количество активных центров на нижнем лазерном уровне</b>
	в	Количество электронов на возбужденном состоянии активного центра превышает количество электронов в основном состоянии активного центра
	г	Количество электронов на верхнем лазерном уровне активного центра превышает количество электронов на нижнем лазерном уровне активного центра
	д	Количество квантов излучения накачки, поглощаемое активными частицами лазерной среды в единицу времени превышает количество излученных квантов за это же время

2. Что является отличительной особенностью вынужденной (стимулированной) люминесценции, нехарактерной для спонтанной люминесценции?	а	<b>Когерентность излучения</b>
	б	Применимость к ней такого понятия, как константа затухания люминесценции
	в	<b>Применимость к ней такого понятия, как поперечное сечение люминесценции</b>
	г	Может возникать только в оптически прозрачной (нерассеивающей) среде
	д	Может возникать только при оптическом возбуждении

3. Как можно избежать ситуации, при которой коэффициент поглощения из возбужденного состояния на длине волны генерации превышает коэффициент усиления активной среды	а	Увеличить интенсивность оптической накачки
	б	Уменьшить интенсивность оптической накачки
	в	Увеличить длину активного элемента
	г	<b>Никак. Только использовать активную лазерную среду другого вида</b>
	д	А ничего и не нужно делать. Поглощение из возбужденного состояния практически не мешает лазерной генерации

4. Для какого режима работы лазера критически важным является обеспечение компенсации дисперсии групповых скоростей	а	Для перестраиваемого по частоте
	б	Для непрерывного
	в	Для одномодового
	г	Для режима модуляции добротности
	д	<b>Для режима синхронизации мод</b>

5. Дифракционный предел расходимости лазерного луча – это минимальная теоретически достижимая расходимость лазерного луча, обусловленная...	а	... дифракцией света на торцах активного элемента
	б	... дифракционными потерями в линзах, зеркалах и иных пассивных оптических элементах лазерной системы
	в	... многомодовым характером генерации в режиме синхронизации мод
	г	... дифракцией света на диспергирующем элементе в режиме плавной перестройки длины волны генерации
	д	<b>... принципом неопределенности Гейзенберга</b>

6. С помощью чего формируются лазерные импульсы в режиме модуляции добротности	а	<b>С помощью электрооптической ячейки Поக்கельса</b>
	б	С помощью минимальной мощности (эффективности) накачки. При этом даже весьма дохлый и короткий импульс снимает с трудом достигнутую инверсную населенность. После этого генерация прекращается до тех пор, пока инверсная населенность снова не будет накоплена
	в	С помощью эффекта Керровской нелинейности
	г	С помощью полупроводникового насыщающегося зеркала
	д	<b>С помощью диэлектрического насыщающегося поглотителя</b>

7. Для экспериментального наблюдения поглощения из возбужденного состояния необходимо (но технически не очень просто) обеспечить...	а	Равномерно высокую концентрацию поглощающих частиц в образце
	б	<b>Равномерно высокую долю поглощающих частиц, находящихся в возбужденном состоянии, по отношению к общему количеству таких частиц в образце</b>
	в	Отсутствие спонтанной люминесценции образца при его возбуждении
	г	Отсутствие симулированной люминесценции образца при его возбуждении
	д	Высокую стабильность интенсивности пробного луча

8. Что ограничивает максимально достижимую мощность непрерывной генерации твердотельного лазера?	а	<b>Образование термолинзы</b>
	б	<b>Снижение квантового выхода стимулированной люминесценции по мере нагрева активного элемента</b>
	в	<b>Разрушение активного элемента слишком мощным световым потоком</b>
	г	Поглощение из возбужденного состояния в активной среде, интенсивность которого растет по мере увеличения интенсивности накачки активного элемента
	д	Концентрационное тушение люминесценции, интенсивность которого растет по мере увеличения интенсивности накачки активного элемента

9. Каким образом можно избавиться от ненужных продольных мод и получить одномодовую лазерную генерацию?	а	Поставить апертурную диафрагму внутрь резонатора
	б	Поставить апертурную диафрагму снаружи резонатора возле выходного зеркала
	в	Поставить компенсатор дисперсии групповых скоростей внутрь резонатора
	г	<b>Поставить эталон Фабри-Перо внутрь резонатора</b>
	д	Поставить эталон Фабри-Перо снаружи резонатора возле выходного зеркала

10. Как соотносится диапазон полосы люминесценции активной лазерной среды с диапазоном возможной плавной перестройки частоты генерации лазера на этой активной среде?	а	Эти диапазоны полностью совпадают
	б	Ширина полосы перестройки генерации соответствует полуширине полосы люминесценции активной среды
	в	<b>В случае малого стоксова сдвига между полосой люминесценции и полосой поглощения на обратном переходе коротковолновая часть полосы люминесценции не участвует в лазерной генерации</b>
	г	<b>Диапазон перестройки уже диапазона люминесценции, в случае наличия оптического поглощения из возбужденного состояния на длине волны генерации</b>
	д	<b>Диапазон перестройки уже</b>



		<b>диапазона люминесценции, т.к. в областях малоинтенсивной люминесценции пороговое условие генерации трудновыполнимо</b>
--	--	---

## Раздел 2.

**Примеры вопросов теста (правильные вопросы выделены жирным шрифтом)**

### Тест № 2.

1. Какие виды взаимодействий характерны для <b>одно</b> электронного изолированного атома? Выбрать правильный список	а	<b>Кулоновское, спин-орбитальное, спин-спиновое</b>
	б	Кулоновское, штарковское, зеемановское
	в	Спиновое, орбитальное, обменное
	г	Штарковское, электронно-колебательное, перенос заряда или энергии возбуждения
	д	орбитальное, спин-орбитальное, спин-спиновое

2. Какие численные значения может принимать в атоме орбитальное квантовое число отдельно взятого электрона?	а	0, +1, -1, +2, -2, +3, -3, и т.д.
	б	<b>0, 1, 2, 3, 4, и т.д.</b>
	в	1, 2, 3, 4, 5, и т.д.
	г	+1/2, -1/2
	д	0, +1/2, -1/2, +3/2, -3/2, +5/2, -5/2, и т.д.

3. За что «отвечает» магнитное квантовое число отдельно взятого электрона в атоме?	а	За размер орбитали электрона
	б	За номер атомного слоя и, в какой-то степени, за размер орбитали электрона
	в	За форму электронного облака и модуль магнитного момента орбитали электрона
	г	За пространственную ориентацию орбитали и величину проекции магнитного момента орбитали электрона на ось квантования
	д	<b>За пространственную ориентацию орбитали электрона и проекцию магнитного момента орбитали на ось квантования, а в ряде случаев - также и за форму орбитали</b>

4. Какие значения может принимать суммарный орбитальный момент количества движения $L$ электронной	а	Только $L = 2l$
	б	<b>Только <math>L = 2l-1</math></b>
	в	$L = 2l, L = 2l-1, L = 2l-2$ , и т.д., вплоть

оболочки атома, состоящей из двух электронов с орбитальным квантовым числом $l$ , если атом <u>находится в основном состоянии</u> ?		до $L = 0$
	г	$L = 2l-1, L = 2l-2, L = 2l-3$ , и т.д., вплоть до $L = 0$
	д	$L = 2l, L = 2l-1, L = 2l-2$ , и т.д., вплоть до $L = -2l$

5. Штарковское расщепление в примесном атоме (ионе) в матрице - это...	а	Возникновение разницы в энергиях электронов незамкнутой оболочки, имеющих разные магнитные квантовые числа, под действием тепловых колебаний окружающих атомов
	б	<b>Возникновение разницы в энергиях электронов незамкнутой оболочки, имеющих разные магнитные квантовые числа, под действием внешнего электростатического поля</b>
	в	Возникновение разницы в энергиях электронов незамкнутой оболочки, имеющих разные магнитные квантовые числа, под действием внешнего стационарного магнитного поля
	г	Возникновение разницы в энергиях электронов незамкнутой оболочки, имеющих противоположные спины, под действием внешнего электростатического поля
	д	Возникновение разницы в энергиях электронов незамкнутой оболочки, имеющих противоположные спины, под действием внешнего стационарного магнитного поля

6. Согласно правилам отбора, спектральный переход между двумя соседними энергетическими уровнями запрещен. Это означает, что...	а	запрет является категорическим, т.е., действительно нельзя
	б	<b>вероятность такого перехода на порядки величины меньше, чем в случае разрешенного перехода</b>
	в	запрет носит чисто номинальный характер и относится только к изолированным атомам (ионам). В конденсированных средах все переходы разрешены
	г	<b>есть некоторые виды физических явлений, которые могут в значительной степени снять этот запрет</b>

	д	<b>переход может произойти также и за счет многофононных процессов, на которые данный запрет не распространяется, но люминесценции (оптического поглощения) при этом не будет</b>
--	---	---

7. Как связана величина наблюдаемого (кажущегося, измеренного) времени жизни возбужденного состояния $\tau_n$ с вероятностью (скоростью) конкретного, исследуемого люминесцентного перехода $W_{\text{люм}}^i$ , с суммарной вероятностью (скоростью) всех возможных каналов люминесценции с данного возбужденного состояния $\Sigma W_{\text{люм}}$ , с вероятностью (скоростью) безызлучательной многофононной релаксации с данного возбужденного состояния $W_{\text{без}}$ , а также с суммарной вероятностью (скоростью) всех возможных безызлучательных взаимодействий рассматриваемого активного центра с соседними активными центрами или с компонентами матрицы, приводящих к опорожнению данного возбужденного состояния $\Sigma W_{\text{взаим}}$	а	$\tau_n = 1/W_{\text{люм}}^i$
	б	$\tau_n = 1/\Sigma W_{\text{люм}}$
	в	$\tau_n = 1/(W_{\text{люм}}^i + W_{\text{без}})$
	г	$\tau_n = 1/(\Sigma W_{\text{люм}} + W_{\text{без}})$
	д	$\tau_n = 1/(\Sigma W_{\text{люм}} + W_{\text{без}} + \Sigma W_{\text{взаим}})$

8. Как разделить вклады поглощения из возбужденного состояния и ап-конверсии в общую скорость заселения высоколежащего возбужденного состояния активных центров при возбуждении квантами низких энергий	а	Построить зависимость интенсивности анти-стоксовой люминесценции от интенсивности длинноволнового возбуждения. При доминировании поглощения из возбужденного состояния зависимость окажется близкой к линейной, а при доминировании ап-конверсии – близкой к квадратичной
	б	Построить зависимость интенсивности анти-стоксовой люминесценции от интенсивности длинноволнового возбуждения. При доминировании поглощения из возбужденного состояния зависимость окажется близкой к квадратичной, а при доминировании ап-конверсии - близкой к линейной
	в	Построить зависимость интенсивности анти-стоксовой люминесценции от интенсивности длинноволнового возбуждения. При

		доминировании поглощения из возбужденного состояния зависимость окажется близкой к линейной, а при доминировании ап-конверсии - близкой к экспоненциальной
	г	<b>Построить зависимость интенсивности анти-стоксовой люминесценции от концентрации активных частиц в образце. При доминировании поглощения из возбужденного состояния зависимость окажется близкой к линейной, а при доминировании ап-конверсии - близкой к квадратичной</b>
	д	Построить зависимость интенсивности анти-стоксовой люминесценции от концентрации активных частиц в образце. При доминировании поглощения из возбужденного состояния зависимость окажется близкой к квадратичной, а при доминировании ап-конверсии - близкой к линейной

9. Какую проблему решает добавление ионов иттербия в лазерные кристаллы (стекла), активированные ионами эрбия и предназначенные для генерации в полуторамикронной области спектра	а	Малая эффективность заселения верхнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ иона $Er^{3+}$ , вследствие слишком длинного времени жизни уровня $^4I_{11/2}$
	б	Малая эффективность депопуляции нижнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ иона $Er^{3+}$ , по причине слишком длинного времени жизни этого уровня, следствием чего являются сложности в создании инверсной заселенности между верхним и нижним лазерными уровнями
	в	<b>Очень низкое сечение поглощения перехода <math>^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}</math> иона <math>Er^{3+}</math>, следствием чего являются малая эффективность оптической накачки уровня <math>^4I_{11/2}</math></b>
	г	Очень низкое сечение поглощения перехода $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ иона $Er^{3+}$ , следствием чего являются малая эффективность оптической накачки уровня $^4I_{13/2}$
	д	Развитая ап-конверсия в ионах $Er^{3+}$ .

10. Какие преимущества характерны для $Ti^{3+}$ как лазерного иона-активатора?	а	Возможность накачки доступными и эффективными полупроводниковыми диодными лазерами
	б	<b>широчайшая полоса люминесценции, что позволяет получать рекордно короткие лазерные импульсы в режиме синхронизации мод</b>
	в	диапазон генерации лежит в перспективном среднем ИК-диапазоне
	г	диапазон генерации лежит в телекоммуникационном диапазоне
	д	<b>отсутствие поглощения из возбужденного состояния в спектральном диапазоне генерации</b>

#### Разделы 3, 4.

Примеры вопросов теста (правильные вопросы выделены жирным шрифтом)

#### Тест № 3.

1. Чем различаются сердцевина и оболочка современных промышленных оптических волокон, предназначенных для передачи оптического сигнала	а	они имеют совершенно разный химический состав
	б	составом легирующих примесей при том, что в целом химический состав сердцевины и оболочки достаточно близок
	в	<b>показателем преломления (у сердцевины больше, чем у оболочки)</b>
	г	показателем преломления (у оболочки больше, чем у сердцевины)
	д	наличием у сердцевины люминесцентных свойств

2. Как зависит показатель преломления диэлектрических кристаллов и стекол от длины волны в широком интервале длин волн (от жесткого УФ до дальнего ИК-диапазона)	а	Монотонно растет с ростом длины волны
	б	Монотонно падает с ростом длины волны
	в	Проходит через максимум
	г	Проходит через минимум
	д	<b>Есть несколько резонансных длин волн, при приближении к которым показатель преломления резко, лавинообразно растет, а вдалеке от которых проходит через локальные минимумы</b>

3. Почему наиболее оптимальным спектральным диапазоном для оптоволоконной связи считается	а	В этом диапазоне имеются наиболее эффективные перестраиваемые по частоте источники когерентного
---	---	---

диапазон 1200-1600 нм?		оптического излучения
	б	В этом диапазоне имеются наиболее эффективные широкополосные усилители когерентного оптического излучения
	в	В этом диапазоне длин волн практически отсутствуют полосы оптического поглощения случайных примесей, наиболее характерных для кварцевого оптоволокна
	г	Этот диапазон обеспечивает оптимальное сочетание минимальных хроматической и модовой дисперсий света в кварцевом волокне
	д	<b>Этот диапазон обеспечивает оптимальное сочетание минимальной хроматической дисперсии и невысокого уровня потерь на рассеяние света в кварцевом волокне</b>

4. что является главным источником шумов в эрбиевых волоконных усилителях?	а	попадание некогерентного излучения накачки из оболочки в сердцевину волокна
	б	попадание некогерентного излучения накачки через выходное зеркало усилителя в основной тракт передающего волокна
	в	спонтанная люминесценция эрбия
	г	<b>суперлюминесценция эрбия</b>
	д	флуктуации коэффициента усиления эрбиевого усилителя

5. В чем заключается «нелинейность» нелинейно-оптических явлений?	а	Зависимость коэффициента оптического поглощения (стимулированной люминесценции) среды от длины волны света
	б	Зависимость коэффициента оптического поглощения (стимулированной люминесценции) среды от направления света (в случае некубических кристаллов)
	в	Зависимость коэффициента оптического поглощения (стимулированной люминесценции) среды от концентрации поглощающих частиц
	г	<b>коэффициента оптического поглощения (стимулированной люминесценции) среды от интенсивности света</b>
	д	коэффициента оптического поглощения

		(стимулированной люминесценции) среды от температуры
--	--	--

6. Самомодуляция света это искажение формы световых импульсов во временнОй развертке вследствие ...	а	<b>вариаций оптических свойств среды во времени, происходящих под воздействием самих этих импульсов</b>
	б	вариаций оптических свойств среды во времени, происходящих под воздействием другого луча света, проходящего через эту же область среды
	в	пространственных вариаций оптических свойств среды, наведенных воздействием самих этих импульсов на среду
	г	пространственных вариаций оптических свойств среды, наведенных в среде воздействием другого луча света, проходящего через эту же область среды
	д	вариаций оптических свойств среды во времени, происходящих под воздействием внешнего электрического поля

7. Что продемонстрировал опыт Франкена	а	Самофокусировку пучка интенсивного света в конденсированной среде
	б	Наведенное двулучепреломление света под действием внешнего электрического поля
	в	<b>Генерацию второй гармоники лазерного излучения в нелинейно-оптическом кристалле</b>
	г	Генерацию разностной частоты двухчастотного лазерного излучения в нелинейно-оптическом кристалле
	д	Параметрическую генерацию света в нелинейно-оптическом кристалле

8. В каких средах возможен оптический или электрический эффект Керра?	а	<b>в любых конденсированных</b>
	б	в кристаллах и стеклах
	в	только в кристаллах
	г	только в кристаллах некубических сингоний
	д	только в кристаллах, в которых отсутствует такое сочетание элементов симметрии, как ось и перпендикулярная ей плоскость симметрии

9. В чем отличие заброса активной	а	<b>В случае ДП поглощаемые кванты</b>
-----------------------------------	---	---------------------------------------

частицы на высоколежащее возбужденное состояние в результате двухфотонного оптического поглощения (ДП) от такового в результате поглощения из возбужденного состояния (ПВС)?		<b>могут иметь произвольную энергию, лишь бы сумма энергий этих квантов соответствовала энергии конечного высоколежащего возбужденного состояния, а в случае ПВС требуются кванты конкретных энергий</b>
	б	Для ДП требуется высокая концентрация активных частиц, а для ПВС - нет
	в	Для ПВС требуется высокая концентрация активных частиц, а для ДП – нет
	г	Для ДП требуется высокая интенсивность излучения, а для ПВС – нет
	д	<b>ПВС идет в два этапа, между которыми возможен небольшой «перекур», а ДП идет сразу, в один присест</b>

10. чем пьезоэлектрики отличаются от сегнетоэлектриков?	а	поляризуются под действием механических деформирующих нагрузок
	б	возможностью образовывать спонтанно-поляризованные домены
	в	<b>невозможностью образовывать спонтанно-поляризованные домены</b>
	г	присутствием в кристалле такого сочетания элементов симметрии, как ось и перпендикулярная ей плоскость симметрии
	д	отсутствием в кристалле такого сочетания элементов симметрии, как ось и перпендикулярная ей плоскость симметрии



### 8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – Экзамен).

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит четыре вопроса. 1 вопрос – 10 баллов, вопрос 2 – 10 баллов, вопрос 3 – 10 баллов, вопрос 4 – 10 баллов.

Перечень вопросов:

Первые вопросы:

1. Основные типы лазеров, их преимущества и недостатки.
2. Принцип работы лазера и оптического квантового усилителя.
3. Стимулированная люминесценция как явление, лежащее в основе работы лазера.
4. Активная среда и рабочие частицы твердотельных лазеров.
5. Виды накачки лазеров.
6. Порог генерации и пороговое условие генерации, инверсная заселенность.
7. Трех- и четырехуровневая схема генерации
8. Виды оптических потерь при генерации лазерного излучения.
9. Дифференциальный и общий КПД генерации.
10. Режим свободных импульсов, непрерывный и квази-непрерывный режимы генерации.
11. Термомеханические и термооптические факторы, ограничивающие максимальную мощность генерации.
12. Расходимость лазерного луча. Дифракционный предел. Факторы, повышающие расходимость лазерного луча.
13. Продольные и поперечные оптические моды в лазерных резонаторах. Способы достижения одномодовой лазерной генерации.
14. Генерация ультра-коротких лазерных импульсов в режиме синхронизации мод и важнейшие методы достижения этого режима.
15. Специальные требования к активной среде лазеров, работающих в режиме синхронизации мод.
16. Дисперсия групповых скоростей и способы ее компенсации.
17. Получение коротких лазерных импульсов высокой средней мощности в режиме модуляции добротности. Суть способа.
18. Активная модуляция добротности. Обтюратор, ячейка Поккельса, акусто-оптический модулятор.
19. Пассивная модуляция добротности. Насыщающиеся поглотители.
20. Плавно перестраиваемая по частоте лазерная генерация. Способы получения и особые требования к активной среде.
21. Спектр усиления активной среды. Диапазон перестройки генерации.

Вторые вопросы:

1. Строение атома. Квантовые числа, электронные оболочки и орбитали, спин.
2. Принцип Паули и правила Хунда.
3. Виды взаимодействий в изолированном атоме. Замкнутая и незамкнутая электронные оболочки.

4. Электронные термы и их обозначения. Диаграмма энергетических уровней РЗ-ионов Дике.
5. Виды взаимодействий незамкнутых электронных оболочек примесного атома (иона) с ближайшим окружением в конденсированной среде.
6. Запрещенная зона и локальные энергетические уровни примесных ионов в конденсированной среде.
7. Виды взаимодействий незамкнутых электронных оболочек примесных атомов (ионов) с ближайшим окружением в конденсированной среде.
8. Оптическое поглощение. Электронные переходы и правила отбора.
9. Вероятности переходов, сечения переходов, коэффициенты ветвления.
10. Электродипольные и магнитодипольные переходы. Метод Джадда-Офельта.
11. Основные виды люминесценции.
12. Время жизни возбужденного состояния. Моноэкспоненциальный и немоноэкспоненциальный распад возбужденного состояния.
13. Безызлучательная многофононная релаксация возбужденного состояния. Квантовый выход люминесценции.
14. Особенности спектральных переходов с переносом заряда и межконфигурационных переходов.
15. Безызлучательный перенос энергии возбужденного состояния между активными ионами. Ап-конверсия, кросс-релаксация, сенсibilизация. Концентрационное тушение люминесценции.
16. Термостимулированная люминесценция, ее механизмы и сферы применения.
17. Иттрий как лазерный активатор. Преимущества и недостатки. Штарковское расщепление основного состояния Yb и полуширины спектральных полос как важнейшие параметры активных сред, легированных Yb.
18. Тулий как лазерный ион. Спектральная область генерации ионов тулия и сферы применения лазеров этого диапазона. Важнейшие схемы оптической накачки тулиевых лазеров.
19. Гольмий как дополнительный активатор тулиевых лазеров.
20. Эрбий как активатор для лазеров и усилителей. Спектральные области его генерации (усиления) и значения этих областей.
21. Важнейшие схемы оптической накачки эрбиевых лазеров и усилителей, особенности динамики заселения и разгрузки различных энергетических уровней  $\text{Er}^{3+}$ . Роль со-активаторов в оптических средах, легированных эрбием.
22. Неодим как лазерный ион. Спектральные переходы  $\text{Nd}^{3+}$ , используемые для лазерной генерации, диапазоны и области применения этой генерации.
23. Самарий и диспрозий как активаторы для люминофоров.
24. Условия, необходимые для получения лазерной генерации ионов  $\text{Dy}^{3+}$  в среднем ИК-диапазоне. Реализованные каналы генерации и используемые способы накачки. Применение когерентного излучения среднего ИК-диапазона.
25.  $\text{Eu}^{3+}$  как активатор люминофоров и спектроскопический зонд.
26. Особенности и области применения спектральных  $4f \leftrightarrow 5d$  – переходов в ионах  $\text{Eu}^{2+}$  и  $\text{Ce}^{3+}$ .

27. Лазерная генерация ионов  $\text{Ce}^{3+}$  на  $4f \leftrightarrow 5d$  – переходе и проблемы ее получения. Особые требования к матрицам для твердотельных лазеров ультрафиолетового диапазона.
28. Особенности спектрально-люминесцентных свойств ионов переходных 3d-элементов. Превалирующие виды взаимодействий 3d-ионов с матрицей.
29. Теория кристаллического поля.  $t_{2g}$  и  $e_g$  – орбитали 3d-ионов. Диаграммы Танабе-Сугано. Расщепление энергетических уровней 3d – ионов низкосимметричным кристаллическим полем.
30. Ионы  $\text{Ti}^{3+}$  как активаторы перестраиваемых и фемтосекундных твердотельных лазеров. Схема уровней, преимущества и недостатки, области применения лазеров на ионах  $\text{Ti}^{3+}$ .
31. Ионы  $\text{Cr}^{4+}$  как активаторы перестраиваемых и фемтосекундных твердотельных лазеров. Схема уровней, преимущества и недостатки, области применения лазеров на ионах  $\text{Cr}^{4+}$ . Проблемы безызлучательной релаксации возбужденного состояния ионов  $\text{Cr}^{4+}$ .
32. Проблемы стабилизации валентного состояния ионов  $\text{Ti}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{4+}$ .
33. Ионы  $\text{Cr}^{3+}$  как активаторы перестраиваемых и фемтосекундных твердотельных лазеров. Преимущества и недостатки. Области применения лазеров на ионах  $\text{Cr}^{3+}$ .
34. Схема уровней и особенности люминесцентных свойств ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в сильном, среднем и слабом кристаллическом поле.
35. Ионы  $\text{Cr}^{2+}$  как активаторы перестраиваемых и фемтосекундных твердотельных лазеров. Схема уровней, преимущества и недостатки, области применения лазеров на ионах  $\text{Cr}^{2+}$ . Особые требования к матрицам для данных ионов-активаторов.
36. Двухвалентный кобальт в различных структурных локализациях как вид рабочих частиц активных и пассивных элементов лазерной техники. Проблемы безызлучательной релаксации возбужденного состояния ионов  $\text{Co}^{2+}$ .

#### Третьи вопросы:

1. Особенности распространения света по волокну. История развития волоконной оптики.
2. Преимущества волоконно-оптической связи. Основные сферы применения оптических волокон.
3. Типы и конструкция оптических волокон, числовая апертура, длина волны отсечки. Материалы, из которых изготавливаются оптические волокна.
4. Модовая и хроматическая дисперсии света в волокнах различных типов.
5. Рабочий спектральный диапазон оптоволоконной связи. Чем он обусловлен?
6. Основные причины оптических потерь в волокнах и способы борьбы с ними. Сроки службы и стойкость волокон к различным воздействиям.
7. Важнейшие способы коммутации оптических волокон. Разъемные и неразъемные соединения волокон. Основные виды оптических соединителей и разветвителей, мультиплексоров, оптических переключателей.
8. Оптические потери на соединениях оптических волокон и способы борьбы с ними.
9. Способы усиления оптических сигналов в волокнах. Конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки эрбиевых волоконных усилителей.

10. Спектр усиления и основные рабочие диапазоны эрбиевых волоконных усилителей, их особенности, преимущества и недостатки.
11. Коэффициенты усиления эрбиевых волоконных усилителей. Важнейшие источники шумов в таких усилителях.
12. Важнейшие пассивные оптические элементы (брэгговские зеркала, GTW-волокна).

Четвертые вопросы:

1. Сущность и причины возникновения нелинейно-оптических явлений.
2. Когерентные, некогерентные и параметрические явления, квадратичная и кубическая нелинейность.
3. Эффект Поккельса. Физическая сущность и практические применения. Требования к симметрии кристаллов, применяемых в ячейках Поккельса.
4. Эффекты Керра. Керровская самофокусировка (саморасфокусировка), каналирование, схлопывание света. Применения оптического эффекта Керра.
5. Некерровские причины самофокусировки (саморасфокусировки) света в конденсированных средах.
6. Самомодуляция и кросс-модуляция света в конденсированной среде.
7. Генерация высших гармоник, суммарной и разностной частот, Опыт Франкена. Требования к симметрии кристаллов. Применение.
8. Параметрическая генерация света. Требования к симметрии кристаллов. Применение.
9. Условие фазового синхронизма при генерации высших гармоник.
10. Многофотонные процессы. Отличия от каскадных процессов.
11. Условие возникновения и квантово-механическое обоснование многофотонных процессов.
12. Многофотонное оптическое поглощение, люминесценция, фотоионизация, оптический пробой.
13. Оптические фононы. Рамановское рассеяние света. ВКР-лазеры и кристаллы для них.
14. Эффект Фарадея и его объяснение с позиций циркулярной поляризации света. Применение.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### 8.4. Структура и примеры билетов для экзамена (1-й семестр).

Экзамен по дисциплине «Основы фотоники» проводится в первом семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для экзамена состоит из четырех вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для экзамена:

<p>«Утверждаю» Зав.кафедрой _____ 20__  И.Х. Аветисов _____</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология Профиль «Химическая технология материалов и приборов электронной техники и нанoeлектроники»</b>
	<b>Основы Фотоники</b>
<p align="center"><b>Билет № 1</b></p> <p>1. Стимулированная люминесценция как явление, лежащее в основе работы лазера.</p> <p>2. Тулий как лазерный ион. Спектральная область генерации ионов тулия и сферы применения лазеров этого диапазона. Важнейшие схемы оптической накачки тулиевых лазеров.</p> <p>3. Оптические потери на соединениях оптических волокон и способы борьбы с ними.</p> <p>4. Эффект Фарадея и его объяснение с позиций циркулярной поляризации света. Применение.</p>	

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Материалы микро- и оптоэлектроники: кристаллы и световоды : учебное пособие для вузов / Л. В. Жукова, А. С. Корсаков, Д. С. Врублевский ; под научной редакцией Б. В. Шульгина. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 279 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-01703-8 (Издательство Юрайт). — ISBN 978-5-7996-1357-0 (Изд-во Урал. ун-та). — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/438032> (дата обращения: 12.04.2023).
2. Волновая оптика : учебное пособие для вузов / А. В. Михельсон, Т. И. Папушина, А. А. Повзнер, А. Г. Гофман ; под общей редакцией А. А. Повзнера. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 118 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-08091-9 (Издательство Юрайт). — ISBN 978-5-7996-1070-8 (Изд-во Урал. ун-та). — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/441510> (дата обращения: 12.04.2023).

#### **Б. Дополнительная литература**

1. О. Звелто. Принципы лазеров, 4-ое издание. Пер. с англ. под ред. Т.А. Шмаонова. СПб.: 2008, 720 с.
2. О.А.Василенко Оптические явления в твердом теле: конспект лекций: Учеб. пособие М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 136 с.
3. С.А. Козлов, В.В. Самарцев. Основы фемтосекундной оптики. ФИЗМАТЛИТ, М., 2009, 292 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Оптика и спектроскопия», ISSN 0030-4034
- Журнал «Квантовая электроника», ISSN 0368-7147
- Журнал «Оптический журнал», ISSN 1023-5086
- Журнал «Optical Materials», ISSN 0925-3467
- Журнал «IEEE Journal of Quantum Electronics», ISSN 0018-9197
- Журнал «Journal of Crystal Growth», ISSN 0022-0248
- Журнал «Crystal Research and Technology», ISSN 0232-1300
- Журнал «Cryst. Eng.Comm.», ISSN 1466-8033
- Журнал «Journal of Non-Crystalline Solids», ISSN 0022-3093
- Журнал «European Journal of Inorganic Chemistry», ISSN 1434-1948
- Журнал «Кристаллография», ISSN 0023-4761
- Журнал «Неорганические материалы», ISSN 0002-337X
- Журнал «Журнал неорганической химии», ISSN 0044-457X
- Журнал «Журнал экспериментальной и теоретической физики», ISSN 0044-4510
- Журнал «Физика твердого тела», ISSN 0367-3294

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных лекций – 17 (общее число слайдов – 55);
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 95);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 83).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «Основы фотоники» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий, оборудованная учебной мебелью.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Не требуется

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Электронные средства демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран), доска со специальными фломастерами и устройством для удаления ненужных надписей на доске, диктофон

#### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для студентов магистратуры, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

#### **11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.



## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> Введение в физику лазеров	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Основные фундаментальные физические явления и закономерности, лежащие в основе функционирования твердотельных и волоконных лазеров</li> <li>– Основные тенденции развития и современные проблемы физики лазеров;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Качественно провести обзор имеющихся в современной научной литературе экспериментальных и теоретических данных по различным проблемам физики лазеров;</li> <li>– Выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения области своих научных интересов моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения;</li> <li>– грамотно поставить физический эксперимент по исследованию оптических, и лазерных генерационных характеристик новых оптических материалов, в том числе</li> <li>– корректно произвести подготовку образца к тому или иному виду его исследований;</li> <li>– правильно интерпретировать и анализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</li> <li>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (1 семестр)</p>

	<p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как оптическая спектроскопия, физика лазеров, физическая электроника;</li> <li>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации квантовой электронике, физике лазеров, по соответствующим разделам общей физики, физической электроники.</li> <li>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиками и техническим персоналом) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 2.</b> Оптическая спектроскопия материалов фотоники</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Основные фундаментальные физические явления и закономерности, лежащие в основе функционирования твердотельных и волоконных лазеров и иных важнейших, изделий и приборов квантовой электроники</li> <li>– Основные тенденции развития и современные проблемы оптической спектроскопии;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Качественно провести обзор имеющихся в современной научной литературе экспериментальных и теоретических данных по различным проблемам оптической спектроскопии;</li> <li>– Выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения области своих научных интересов моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения;</li> <li>– грамотно поставить физический эксперимент по исследованию оптических и спектрально-люминесцентных, характеристик новых оптических материалов, в том числе – корректно произвести</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (1 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (1 семестр)</p>

	<p>подготовку образца к тому или иному виду его исследований;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правильно интерпретировать и анализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</li> <li>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, оптическая спектроскопия, физика лазеров, физическая электроника;</li> <li>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по оптической спектроскопии, по физике лазеров, по соответствующим разделам общей физики, кристаллографии, физической электронике.</li> <li>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиками и техническим персоналом) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</li> </ul>	
--	---	--

<p><b>Раздел 3.</b> Основы волоконной оптики</p>	<p><i>Знает:</i> – Основные фундаментальные физические явления и закономерности, лежащие в основе функционирования волоконных лазеров и иных важнейших, изделий и приборов волоконной оптики – Основные тенденции развития и современные проблемы волоконной оптики; <i>Умеет:</i> – Качественно провести обзор имеющихся в современной научной литературе экспериментальных и теоретических данных по различным проблемам волоконной оптики – Выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения области своих научных интересов моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения; – грамотно поставить физический эксперимент по исследованию различных характеристик новых материалов деталей и узлов волоконной оптики, в том числе – корректно произвести подготовку образца к тому или иному виду его исследований; – правильно интерпретировать и анализировать результаты отдельных экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений; – подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов <i>Владеет:</i> – основной специальной русско- и англоязычной терминологией,</p>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (1 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (1 семестр)</p>
--	---	---

	<p>применяемой в таких областях науки, как волоконная оптика, физика лазеров, физическая электроника;</p> <p>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по волоконной оптике, физике лазеров, по соответствующим разделам общей физики, физической химии твердого состояния, физической электроники.</p> <p>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиками и техническим персоналом) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</p>	
<p><b>Раздел 4.</b> Нелинейно-оптические явления в фотонике</p>	<p><i>Знает:</i></p> <p>– Основные фундаментальные физические явления и закономерности, лежащие в основе функционирования важнейших, изделий и приборов нелинейной оптики</p> <p>– Основные тенденции развития и современные проблемы нелинейной оптики;</p> <p><i>Умеет:</i></p> <p>– Качественно провести обзор имеющихся в современной научной литературе экспериментальных и теоретических данных по различным проблемам нелинейной оптики</p> <p>– Выделить в большом объеме научно-технической информации важные с точки зрения области своих научных интересов моменты, не тратя время на изучение информации, второстепенной с этой точки зрения;</p> <p>– грамотно поставить физический эксперимент по исследованию оптических (в том числе, нелинейно-оптических) характеристик новых оптических материалов, в том числе</p> <p>– корректно произвести подготовку образца к тому или иному виду его исследований;</p> <p>– правильно интерпретировать и анализировать результаты отдельных</p>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (1 семестр)</p> <p>Оценка за экзамен (1 семестр)</p>

	<p>экспериментов такого рода, а также систематизировать и обобщать результаты серий таких экспериментов с учетом имеющихся литературных данных, в том числе - критически осмыслить обнаруженные экспериментальные зависимости и тенденции с точки зрения их статистической значимости с учетом случайных и систематических погрешностей измерений;</p> <p>– подготовить научную публикацию, доклад на научном мероприятии и раздел квалификационной работы по результатам таких экспериментов</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>– основной специальной русско- и англоязычной терминологией, применяемой в таких областях науки, как физическое материаловедение, нелинейная оптика, физическая электроника;</p> <p>– навыками поиска в библиотеках и в электронных ресурсах научно-технической литературы информации по физическому материаловедению, нелинейной оптике, по соответствующим разделам общей физики, физической электроники.</p> <p>– навыками общения со своими будущими коллегами – представителями смежных профессий (прежде всего, физиками и техническим персоналом) с использованием хорошо известных им терминов, понятий и категорий.</p>	
--	--	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Основы фотоники»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология

магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Современные методы и оборудование для производства гетерофазных  
пленочных структур»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

Заведующим кафедрой химии и технологии кристаллов, д.х.н., профессором И.Х. Аветисовым.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой *химии и технологии кристаллов* РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 2 и 3 семестров.

Дисциплина **«Современные методы и оборудование для производства гетерофазных пленочных структур»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплинам по выбору учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области химической технологии материалов и изделий электроники и фотоники.

**Цель дисциплины** – состоит в обучении студентов магистратуры знаниям, умениям и навыкам использования информации об оборудовании для производства гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники.

**Задачи дисциплины** – основные задачи дисциплины заключаются в формировании у студентов магистратуры углубленных знаний в области процессов и оборудовании, используемого для реализации той или иной технологии изготовления гетерофазных пленочных структур и на основе этих знаний выработка системного подхода к постановке, выполнению и анализу результатов научных исследований в указанной области материаловедения.

Дисциплина **«Современные методы и оборудование для производства гетерофазных пленочных структур»** преподается во 2-ом и 3-ем семестрах. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-1 Способен формулировать задачи в области химической технологии для самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы, разрабатывать планы их реализации и задания для исполнителей	ПК-1.1 Знает принципы планирования научной работы коллектива исполнителей исходя из целей, задач и ресурсов проведения НИОКР	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н  Обобщенная трудовая функция  Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и
			ПК-1.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок	
			ПК-1.3 Владеет приемами оценки материальных, кадровых и временных ресурсов, потребных для научного исследования	

				<p>фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>F/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p>
<p>Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	<p>ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники -</p> <p>ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных характеристик материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>F/02.7 Разработка требований к уровню</p>

				<p>технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p>
--	--	--	--	--

				С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).
--	--	--	--	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

**знать:**

- Оборудование и технологии резки кристаллов и обработки подложек
- Оборудования для жидкостной химической обработки
- Оборудование для процессов PVD, CVD, ALD.
- Оборудование и технологии для эпитаксии.
- Оборудование и технологии различных видов литографии
- Оборудование и технологии термической обработки для проведения процессов отжига, окисления и диффузии
- Оборудование и технологии плазмохимической обработки
- Измерительное оборудование для контроля параметров монокристаллических и вспомогательных материалов
- Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ, веществ на основе неорганических и органических соединений

**уметь:**

- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения и обработки гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.
- Формулировать требования к измерительному оборудованию для анализа характеристик основных и вспомогательных материалов электроники и фотоники.
- Осуществлять выбор оборудования для производства гетерофазных пленочных структур в зависимости от заданного способа производства.
- Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).

**владеть:**

- Информацией о современном и перспективном оборудовании для формирования топологии и методах получения гетерофазных пленочных для различных приборов электроники.
- Информацией по методам контроля параметров гетерофазных пленочных структур

### 3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего		Семестр			
			2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>5</b>	<b>180</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>3</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>3</b>	<b>102</b>	<b>1.5</b>	<b>51</b>	<b>1.5</b>	<b>51</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	0,5	12	0,25	6	0,25	6
Лекции	1	34	0.5	17	0.5	17
Практические занятия (ПЗ)	2	68	1	34	1	34
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	0,5	12	0,25	6	0,25	6



Самостоятельная работа	2	78	0,5	21	1,5	57
Контактная самостоятельная работа	2	0,6	0,5	0,2	1,5	0,4
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		77,4		20,8		56,6
Виды контроля:						
Зачет			+			
Зач. с оценкой						+
Вид итогового контроля:			Зачет		Зач. с оценкой	

Вид учебной работы	Всего		Семестр			
			2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр . ч.	ЗЕ	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	135	2	54	3	81
Контактная работа – аудиторные занятия:	3	76.5	1.5	38.3	1.5	38.2
в том числе в форме практической подготовки	0,5	9	0,25	4.5	0,25	4.5
Лекции	1	25.5	0.5	12.8	05	12.7
Практические занятия (ПЗ)	2	51	1	25.5	1	25.5
в том числе в форме практической подготовки	0,5	9	0,25	4.5	0,25	4.5
Самостоятельная работа	2	58.5	0,5	15.8	1,5	42.7
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,5	0,15	1,5	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		58,1		15,6 5		42,4
Виды контроля:						
Зачет			+			
Зач. с оценкой						+
Вид итогового контроля:			Зачет		Зач. с оценкой	

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	в т.ч. в форме пр. подг.	Лекции	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
1.	Раздел 1. Оборудование и технологии резки кристаллов	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
2.	Раздел 2. Оборудование и технологии обработки подложек	12	1,0	2,0	4,0	1,0	5,0
3.	Раздел 3. Оборудования для жидкостной химической обработки	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
4.	Раздел 4. Оборудование для парофазной обработки	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
5.	Раздел 5. Оборудование и технологии для эпитаксии	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
6.	Раздел 6. Оборудование и технологии литографии	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
7.	Раздел 7. Оборудование и технологии термической обработки	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
8.	Раздел 8. Оборудование и технологии плазмохимической обработки	14,5	1,0	2,5	5,0	1,0	5,0
9.	Раздел 9. Измерительное оборудование для контроля параметров материалов	14,5	1,0	2,5	5,0	1,0	5,0

<b>10.</b>	<b>Раздел 10. Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ</b>	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
<b>11.</b>	<b>Раздел 11. Оборудование для синтеза высокочистых веществ на основе неорганических соединений</b>	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
<b>12.</b>	<b>Раздел 12. Оборудование для синтеза высокочистых веществ на основе органических соединений</b>	18	1,0	3,0	6,0	1,0	7,0
	<b>ИТОГО</b>	180	12	34,0	68,0	12,0	78,0

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Оборудование и технологии резки кристаллов**

- 1.1. Оборудование и технологии дисковой резки слитков
- 1.2. Оборудование и технологии струнной резки слитков и брикетов

### **Раздел 2. Оборудование и технологии обработки подложек**

- 2.1. Оборудование и технологии шлифовки и полировки подложек
- 2.2. Оборудование и технологии химико-механической обработки (утонения) пластин
- 2.3. Оборудование и технология резки и микрообработки пластин

### **Раздел 3. Оборудования для жидкостной химической обработки**

- 3.1. Оборудование и технологии групповой обработки кусков поликремния
- 3.2. Оборудование и технологии жидкостной групповой обработки солнечных элементов
- 3.3. Оборудование и технологии гидромеханической очистки и сушки пластин
- 3.4. Оборудование и технологии химического осаждения металлов
- 3.5. Оборудование и технологии формирования пористого кремния
- 3.6. Оборудование и технологии удаления полимеров, травления и мойки кремниевых труб

### **Раздел 4. Оборудование для парофазной обработки**

- 4.1. Технология и оборудование для PVD процессов
- 4.2. Технология и оборудование для CVD процессов
- 4.3. Технология и оборудование для ALD процессов

### **Раздел 5. Оборудование и технологии для эпитаксии**

- 5.1. Технология и оборудование для жидкостной эпитаксии
- 5.2. Технология и оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии

### **Раздел 6. Оборудование и технологии литографии**

- 6.1. Оборудование для изготовления фотошаблонов
- 6.2. Оборудование и технологии оптической литографии
- 6.3. Оборудование и технологии электронно-лучевой литографии
- 6.4. Оборудование и технологии лазерной литографии
- 6.5. Оборудование и технологии рентгеновской литографии
- 6.6. Оборудование и технологии ионно-лучевой литографии
- 6.7. Оборудование и технологии атомно-силовой литографии

### **Раздел 7. Оборудование и технологии термической обработки**

- 7.1. Оборудование и технологии термического отжига
- 7.2. Оборудование и технологии термического окисления
- 7.3. Оборудование и технологии для термодиффузии
- 7.4. Оборудование и технологии для термических процессов нитридирования и силицидирования
- 7.5. Оборудование и технологии для термического озонения

### **Раздел 8. Оборудование и технологии плазмохимической обработки**

- 8.1. Оборудование и технологии плазмохимического осаждения
- 8.2. Оборудование и технологии плазмохимического напыления
- 8.3. Оборудование и технологии плазмохимического травления

### **Раздел 9. Измерительное оборудование для контроля параметров материалов**

- 9.1. Оборудование и технологии контроля качества монокристаллических образцов

- 9.2. Оборудование и технологии контроля качества пластин для эпитаксии
- 9.3. Системы дефектоскопии масок и фотошаблонов
- 9.4. Системы восстановления масок и фотошаблонов

#### **Раздел 10. Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ**

- 10.1. Оборудование для очистки методами направленной кристаллизацией расплавов
- 10.2. Оборудование для очистки методами сублимации
- 10.3. Оборудование для очистки растворными методами

#### **Раздел 11. Оборудование для синтеза высокочистых веществ на основе неорганических соединений**

- 11.1. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений расплавами методами при пониженных и нормальных давлениях.
- 11.2. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений расплавами методами при высоких давлениях.
- 11.3. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений парофазными методами.
- 11.4. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений с контролируемым отклонением состава от стехиометрии.

#### **Раздел 12. Оборудование для синтеза высокочистых веществ на основе органических соединений**

- 12.1. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием растворных методов.
- 12.2. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием расплавных методов.
- 12.3. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием парофазных методов при пониженных и нормальных давлениях.
- 12.4. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием парофазных методов при повышенных давлениях.
- 12.5. Особенности оборудования для синтеза кристаллических фаз высокочистых органических соединений с контролируемым отклонением состава от стехиометрии.

## 5 СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 9	Раздел 10	Раздел 11	Раздел 12
	<b>Знать: (перечень из п.2)</b>												
1	- Оборудование и технологии резки кристаллов и обработки подложек	+	+										
2	- Оборудования для жидкостной химической обработки			+									
3	- Оборудование для процессов PVD, CVD, ALD.				+								
4	- Оборудование и технологии для эпитаксии.					+							
5	- Оборудование и технологии различных видов литографии						+						
6	- Оборудование и технологии термической обработки для проведения процессов отжига, окисления и диффузии							+					
7	- Оборудование и технологии плазмохимической обработки								+				
8	- Измерительное оборудование для контроля параметров монокристаллических и вспомогательных материалов									+			
9	- Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ, веществ на основе неорганических и органических соединений										+	+	+
	<b>Уметь: (перечень из п.2)</b>												
7	– Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения и обработки гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	– Формулировать требования к измерительному оборудованию для анализа характеристик основных и вспомогательных материалов электроники и фотоники.									+			

8	– Осуществлять выбор оборудования для производства гетерофазных пленочных структур в зависимости от заданного способа производства.	+	+	+	+	+	+	+	+				
9	– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<b>Владеть: (перечень из п.2)</b>												
10	– Информацией о современном и перспективном оборудовании для формирования топологии и методах получения гетерофазных пленочных для различных приборов электроники			+	+	+	+	+	+		+	+	+
11	– Информацией по методам контроля параметров гетерофазных пленочных структур	+	+							+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u>													
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>											

11	ПК-1 Способен формулировать задачи в области химической технологии для самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы, разрабатывать планы их реализации и задания для исполнителей	ПК-1.1 Знает принципы планирования научной работы коллектива исполнителей исходя из целей, задач и ресурсов проведения НИОКР	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12		ПК-1.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+



13		ПК-1.3 Владеет приемами оценки материальн ых, кадровых и временных ресурсов, потребных для научного исследован ия	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники	ПК-5.1 Знает современн ые требования к функциона льным характерис тиками материалов и изделий электроник и и наноэлектр оники	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+

15		ПК-5.2 Умеет модифицир овать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроник и и наноэлектр оники			+	+	+	+	+	+		+	+	+
16		ПК-5.3 Владеет способами измерения функциона льных характерис тик материалов и изделий электроник и и наноэлектр оники									+	+	+	+

## 6 ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1 Практические занятия

Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	Раздел 1.	Практическое занятие 1. Расчет напряжений при дисковой и струнной резке кристаллов	6,0
2	Раздел 2.	Практическое занятие 2. Расчет процессов шлифовки и химико-механической полировки. Расчет расхода материалов при шлифовке и химико-механической полировки	4,0
3	Раздел 3.	Практическое занятие 3. Расчет процессов химического осаждения металлов	6,0
4	Раздел 4.	Практическое занятие 4. Расчет PVD процесса формирования ОСИД структур. Расчет CVD процесса осаждения халькогенидов цинка. Расчет ALD процессов формирования оксидных структур.	6,0
5	Раздел 5.	Практическое занятие 5. Расчет процесса жидкофазной и эпитаксии КРТ. Расчет процесса электронно лучевого осаждения пленок АЗВ5.	6,0
6	Раздел 6.	Практическое занятие 6. Расчет процесса рентгеновской фотолитографии	6,0
7	Раздел 7.	Практическое занятие 7. Расчет процесса термического окисления кремния.	6,0
8	Раздел 8.	Практическое занятие 8. Расчет процесса плазмохимического осаждения оксидных слоев.	5,0
9	Раздел 10.	Практическое занятие 10. Расчет процесса сублимационной очистки конгруэнтно сублимирующих соединений	6,0
10	Раздел 11.	Практическое занятие 11. Расчет процесса синтеза нестехиометрических фаз до заданного отклонения от стехиометрии	6,0
11	Раздел 12.	Практическое занятие 12. Расчет процесса сублимационных очистки металл-органических координационных соединений.	6,0

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторных занятий по дисциплине «Современные методы и оборудование для производства гетерофазных пленочных структур» не предусмотрено.

## 7 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Учебной программой дисциплины «Современные методы и оборудование для производства гетерофазных пленочных структур» предусмотрена самостоятельная работа студента в объеме 78 акад. час., в том числе самостоятельное изучение разделов

дисциплины и выполнение домашних заданий в объеме 63 акад. час., подготовку реферата в объеме 18 акад. час., а также выполнения курсового проекта.

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает следующие виды:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку реферата по тематике курса на основе проработки рекомендованной литературы и работы с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче зачета и зачета с оценкой.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8 ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине в 2 семестре складывается из оценок за практические занятия (максимальная оценка 80 баллов), реферата (максимальная оценка 20 баллов);

Совокупная оценка по дисциплине в 3 семестре складывается из оценок за практические занятия (максимальная оценка 45 баллов), реферата (максимальная оценка 15 баллов) контроля в форме зачета с оценкой (максимальная оценка 100 баллов).

### **8.1 Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

Реферат по дисциплине выполняется во 2 семестре в часы, выделенные учебным планом на самостоятельную работу. Максимальная оценка реферата – 20 баллов.

Примерные тематики рефератов:

- Современные тенденции в области пучковых технологий.
- Исследования процессов вакуумного испарения многокомпонентных систем.
- Современные конструкции термических испарителей при производстве ОСИД дисплеев.
- Современные тенденции в создании тонкопленочных прозрачных проводящих слоев для устройств отображения информации.
- История создания и современные тенденции развития технологий тонкопленочных структур при производстве интегральных схем с топологическими нормами менее 25 нм.
- Нанолитография и ее применение при производстве современных микросхем.

- Способы формирования тонкопленочных светофильтров в полноцветных устройствах отображения информации.
- Современные тенденции в области нанолитографических процессов
- Современные технологии термической обработки изделий, включая импульсную световую обработку, плазменную обработку и т.п.
- Современные достижения в области высоковакуумных производственных систем.

## **8.2 Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 1 тест (по 1 разделу) и 2 контрольных работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы составляет по 15 баллов за каждую.

### **Раздел 1-2. Примеры вопросов к контрольной работе № 1. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

#### **Вопрос 1.1.**

1. Рассчитать напряжения при струнной резке кристаллов кремния диаметром 100 мм со скоростью реза 50 мм/час.
2. Рассчитать расход СОЖ для струнной резки кристаллов кремния диаметром 100 мм со скоростью реза 50 мм/час

#### **Вопрос 1.2.**

1. Рассчитать напряжения при дисковой резке кристаллов кремния диаметром 100 мм со скоростью реза 10 мм/мин
2. Рассчитать расход СОЖ при дисковой резке кристаллов кремния диаметром 100 мм со скоростью реза 10 мм/мин

### **Раздел 3-4. Примеры вопросов к контрольной работе № 2. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

#### **Вопрос 2.1.**

1. Рассчитать время осаждения слоя металлического золота толщиной 15 мкм на подложку кадмий-цинк-теллур.
2. Рассчитать скорость осаждения трис(8-оксихинолята) алюминия, осаждаемого методом PVD на подложку с диагональю 2 м.

#### **Вопрос 2.2.**

1. Рассчитать время осаждения слоя металлического алюминия толщиной 100 нм на подложку из поликарбоната.
2. Рассчитать скорость осаждения селенида цинка толщиной 3 см, осаждаемого методом CVD на стеклоуглеродную подложку.

### **Раздел 5-6. Примеры вопросов к контрольной работе № 3. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

#### **Вопрос 3.1.**

1. Рассчитать скорость жидкофазной эпитаксии слоя КРТ толщиной 15 мкм на подложку КЦТ.
2. Рассчитать время экспозиции при рентгеновской фотолитографии слоя ПММА толщиной 20 нм.

#### **Вопрос 3.2.**

1. Рассчитать скорость жидкофазной эпитаксии слоя КРТ толщиной 25 мкм на подложку арсенида галлия.

2. Рассчитать время экспозиции при рентгеновской фотолитографии слоя ПММА толщиной 50 нм.

**Раздел 7-8. Примеры вопросов к контрольной работе № 4. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

**Вопрос 4.1.**

1. Рассчитать время формирования слоя диоксида кремния при термическом окислении во влажном кислороде при 800 С с формированием слоя толщиной 50 нм.
2. Рассчитать время осаждения слоя ИТО толщиной 100 нм при плазмохимическом распылении мишени Индий-олово в аргонно-кислородной плазме.

**Вопрос 4.2.**

1. Рассчитать время формирования слоя диоксида кремния при термическом окислении в сухом кислороде при 900 С с формированием слоя толщиной 40 нм.
2. Рассчитать время осаждения слоя нитрита титана толщиной 1 мкм при плазмохимическом распылении мишени титана в аргонно-азотной плазме.

**Раздел 9-10. Примеры вопросов к контрольной работе № 5. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

**Вопрос 5.1.**

1. Рассчитать длительность сублимационной очистки 1 кг металлического теллура в условиях динамического вакуума  $10^{-6}$  Торр.
2. Рассчитать время сублимационной очистки 500 г теллурида свинца в условиях динамического вакуума  $10^{-6}$  Торр.

**Вопрос 5.2.**

1. Рассчитать длительность сублимационной очистки 1 кг элементарного селена в условиях динамического вакуума  $10^{-6}$  Торр.
2. Рассчитать время сублимационной очистки 500 г теллурида олова в условиях динамического вакуума  $10^{-6}$  Торр.

**Раздел 11-12. Примеры вопросов к контрольной работе № 6. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

**Вопрос 4.1.**

1. Рассчитать длительность процесса синтеза кристаллов нестехиометрического селенида цинка толщиной 5 мм при насыщении селеном при температуре 1000 С.
2. Рассчитать время сублимационной очистки 5 г трис(8-оксихинолята) алюминия в условиях динамического вакуума  $10^{-6}$  Торр.

**Вопрос 4.2.**

1. Рассчитать длительность процесса синтеза кристаллов нестехиометрического селенида кадмия толщиной 3 мм при насыщении селеном при температуре 900 С.
2. Рассчитать время сублимационной очистки 10 г трис(8-оксихинолята) галлия в условиях динамического вакуума  $10^{-6}$  Торр.

**8.3 Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (2 семестр – вид зачет, 3 семестр – зачет с оценкой).**

Итоговый контроль по дисциплине не предусмотрен.

Максимальное количество баллов за *зачет* (2 семестр) – 100 баллов, за *зачет с оценкой* (3 семестр) – 100 баллов.

### **8.3.1 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (2 семестр – зачет).**

1. Оборудование и особенности технологии дисковой резки слитков кремния
2. Оборудование и особенности технологии дисковой резки слитков арсенида галлия
3. Оборудование и особенности технологии струнной резки слитков и брикетов кремния
4. Оборудование и особенности технологии струнной резки слитков арсенида галлия
5. Оборудование и особенности технологии шлифовки и полировки подложек кремния
6. Оборудование и особенности технологии шлифовки и полировки подложек арсенида галлия
7. Оборудование и особенности технологии шлифовки и полировки подложек кадмий-цинк-теллур
8. Оборудование и особенности технологии химико-механической обработки (утонения) пластин кремния
9. Оборудование и особенности технологии химико-механической обработки (утонения) пластин арсенида галлия
10. Оборудование и особенности технологии химико-механической обработки (утонения) пластин кадмий-цинк-теллур
11. Оборудование и особенности технологии групповой обработки кусков поликремния
12. Оборудование и особенности технологии жидкостной групповой обработки кремниевых пластин для солнечных элементов
13. Оборудование и особенности технологии гидромеханической очистки и сушки пластин кремния
14. Оборудование и особенности технологии гидромеханической очистки и сушки пластин арсенида галлия
15. Оборудование и технологии химического осаждения металлов на подложки кремния
16. Оборудование и технологии химического осаждения металлов на стеклянные подложки
17. Оборудование и технологии химического осаждения металлов на подложки из органических полимерных материалов
18. Оборудование и особенности технологии формирования пористого кремния
19. Оборудование и технологии удаления полимерных фоторезистов
20. Оборудование и технологии травления и мойки кремниевых труб
21. Технология и особенности оборудование для PVD процессов осаждения на стеклянные подложки
22. Технология и особенности оборудование для PVD процессов осаждения на монокристаллические подложки
23. Технология и особенности оборудование для CVD процессов осаждения на стеклянные подложки
24. Технология и особенности оборудование для CVD процессов осаждения на монокристаллические подложки
25. Технология и особенности оборудование для ALD процессов осаждения на стеклянные подложки

26. Технология и особенности оборудование для ALD процессов осаждения на монокристаллические подложки
27. Технология и особенности оборудование для жидкостной эпитаксии на подложки кремния
28. Технология и особенности оборудование для жидкостной эпитаксии на подложки арсенида галлия
29. Технология и особенности оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии на подложки кремния
30. Технология и особенности оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии на подложки арсенида галлия
31. Технология и особенности оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии на подложки кадмий-цинк-теллур
32. Оборудование для изготовления фотошаблонов
33. Оборудование и технологии оптической литографии
34. Оборудование и технологии электронно-лучевой литографии
35. Оборудование и технологии лазерной литографии
36. Оборудование и технологии рентгеновской литографии
37. Оборудование и технологии ионно-лучевой литографии
38. Оборудование и технологии атомно-силовой литографии

### **8.3.2 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – зачет с оценкой).**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по разделам 7- 12 рабочей программы дисциплины и содержит 2 вопроса. 1 вопрос – 20 баллов, вопрос 2 – 20 баллов.

1. Оборудование и особенности технологии термического отжига буль арсенида галлия
2. Оборудование и особенности технологии термического окисления кремния
3. Оборудование и особенности технологии для термодиффузии примесей в кремниевые подложки
4. Оборудование и особенности технологии для термодиффузии примесей в арсенидно-галлиевые подложки
5. Оборудование и особенности технологии для термических процессов нитрирования кремниевых гетероструктур
6. Оборудование и особенности технологии для термических процессов силицирования кремниевых гетероструктур
7. Оборудование и особенности технологии для термического озонения
8. Оборудование и особенности технологии плазмохимического осаждения оксидных покрытий
9. Оборудование и особенности технологии плазмохимического осаждения нитридных покрытий
10. Оборудование и особенности технологии плазмохимического осаждения силицидных покрытий
11. Оборудование и особенности технологии плазмохимического напыления металлов
12. Оборудование и особенности технологии плазмохимического напыления алмазоподобных покрытий
13. Оборудование и особенности технологии плазмохимического травления кремниевых структур
14. Оборудование и особенности технологии плазмохимического травления арсенидно-галлиевых структур
15. Оборудование и особенности технологии контроля качества монокристаллических образцов кремния



16. Оборудование и особенности технологии контроля качества монокристаллических образцов арсенида галлия
17. Оборудование и особенности технологии контроля качества монокристаллических образцов карбида кремния
18. Оборудование и особенности технологии контроля качества пластин для эпитаксии
19. Системы дефектоскопии масок и фотошаблонов
20. Системы восстановления масок и фотошаблонов
21. Оборудование для очистки методами направленной кристаллизацией расплавов
22. Оборудование для очистки методами сублимации
23. Оборудование для очистки растворными методами
24. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений расплавными методами при пониженных и нормальных давлениях.
25. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений расплавными методами при высоких давлениях.
26. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений парофазными методами.
27. Оборудование для синтеза фаз неорганических соединений с контролируемым отклонением состава от стехиометрии.
28. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием растворных методов.
29. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием расплавных методов.
30. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием парофазных методов при пониженных и нормальных давлениях.
31. Оборудование для синтеза и очистки фаз органических соединений с использованием парофазных методов при повышенных давлениях.
32. Особенности оборудования для синтеза кристаллических фаз высокочистых органических соединений с контролируемым отклонением состава от стехиометрии.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### **8.4 Структура и примеры билетов для зачета с оценкой (3 семестр).**

*Зачет с оценкой* по дисциплине «Современные методы и оборудование для производства гетерофазных пленочных структур» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам 7-12 рабочей программы дисциплины. Билет для *зачета с оценкой* состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для *зачета с оценкой*:

«Утверждаю» Заведующий кафедрой химии и технологии кристаллов  _____ <u>И.Х.Аветисов</u> (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>18.04.01 Химическая технология</b> <b>«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов химической технологии
<p align="center"><b>Билет № 1_</b></p> <p>1. Оборудование и особенности технологии контроля качества монокристаллических образцов карбида кремния</p> <p>2. Особенности оборудования для синтеза кристаллических фаз высокочистых органических соединений с контролируемым отклонением состава от стехиометрии.</p>	

## 9 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1 Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. *Высокочистые вещества*. Коллектив авторов. М.: Научный мир, 2018. 996 с.
2. Зиновьев А.Ю., Чередниченко А.Г., Аветисов И.Х. *Технология органических электролюминесцентных устройств. Технологические процессы. Учебное пособие*. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 64 с.
3. Родионов Ю. А. *Химические технологии в производстве микроэлектромеханических систем: учебное пособие для вузов*. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 220 с. ISBN 978-5-8114-5788-5. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/165810> (дата обращения: 12.04.2023).
4. Зломанов В. П., Аветисов И. Х., Можевитина Е. Н. *Физическая химия твердого тела. P–T–x диаграммы фазовых равновесий: учеб. пособие*. М.: РХТУ, 2019. 184 с.
5. Петрова О.Б., Аветисов И.Х., Степанова И.В. *Методические указания по выполнению расчетов технологических процессов в производстве материалов электроники и нанoeлектроники: учебно-методическое пособие*. М.: РХТУ, 2015. 60 с. ISBN 978-5-7237-1263-8.
6. Камлюк В. С., Камлюк Д. В. *Технологическое оборудование для микроэлектроники: учебное пособие*. Республиканский институт профессионального образования, 2014. 314 с.
7. Плетнев М.Ю. *Технология эмульсий. Гидрофильно-липофильный баланс и обращение фаз*. 3-е изд., стер., 2021. 100 с. ISBN 978-5-8114-6945-1.
8. Григорьев А. Д. *Электродинамика и микроволновая техника: учебник*. 2-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 704 с. ISBN 978-5-8114-0706-4. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/167679> (дата обращения: 12.04.2023).

#### Б. Дополнительная литература

1. Юркевич А. А., Ивахнюк Г. К., Фёдоров Н. Ф., Пименова М. А. *Технологические основы производства химических компонентов систем жизнеобеспечения*. Издательство "Лань", 2021. 368 с.
2. Парфенов О.Д. *Технология микросхем*. М.: Высш.шк., 1986. 320 с.
3. ГОСТ Р 8.694-2010. *Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы материалов (веществ). Общие статистические принципы определения метрологических характеристик*.
4. Готтштайн Г. *Физико-химические основы материаловедения*. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011. 400 с.
5. Ковтуненко П.В. *Физическая химия твердого тела. Учебник для вузов*. М.: Высшая школа, 1993. 352 с.
6. Максимов А.И. *Плазмохимия неравновесных процессов*. Ивановский государственный химико-технологический университет.
7. Плетнев М.Ю. *Технология эмульсий. Гидрофильно-липофильный баланс и обращение фаз*. 3-е изд., стер., 2021. 100 с. ISBN 978-5-8114-6945-1.
8. Титова Л. М., Нугманов А. Х.-Х., Алексанян И. Ю. *Теоретические основы энергосберегающих технологий*. 2-е изд., испр., 2021. 216 с.
9. Арабов М. Ш., Арабова З. М. *Материаловедение и технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум*. 1-е изд., 2021. 160 с. ISBN 978-5-8114-7510-0.
10. Земсков Ю.П. *Материаловедение*. 1-е изд., 2019. 188 с. ISBN 978-5-8114-3392-6.

11. Кузнецов В.В., Москвин П.П. *Межфазные взаимодействия при гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов*. 1-е изд., 2019. 376 с. ISBN 978-5-8114-3809-9.
12. Под ред. Смирнов Н.Н. *Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов)*. 4-е изд., стер., 2019. 84 с. ISBN 978-5-8114-4122-8.
13. Веригин А.Н., Данильчук В.С., Незамаев Н.А. *Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Основы проектирования*. 1-е изд., 2018. 536 с. ISBN 978-5-8114-2755-0.
14. Петров Б.И., Леснов А.Е. *Современное состояние экстракционного метода*. 1-е изд., 2018. 356 с. ISBN 978-5-8114-2889-2.
15. Мокроусов Г.М., Зарубина О.Н., Бекезина Т.П. *Межфазные превращения и формирование поверхности многокомпонентных полупроводников в жидких средах*. 1-е изд., 2015. 112 с. ISBN 978-5-8114-1872-5.

## 9.2 Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Реферативный журнал «Химия» (РЖХ), серия 19С «Химия»
- Журнал Неорганические материалы. ISSN: : 0002-337X
- Журнал Физика твердого тела. ISSN: 0367-3294
- Журнал Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. ISSN: 1609-3577
- Journal of Solid State Chemistry. ISSN: 0022-4596.
- Physica Status Solidi A. ISSN: 1862-6300

Рекламные материалы ведущих производителей оборудования для технологий материалов и изделий электронной техники.

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://www.portalnano.ru/> - Нанотехнологии и наноматериалы. Федеральный интернет-портал
- <http://www.nsknano.ru/> - Новосибирские Наноматериалы
- [www.14000.ru](http://www.14000.ru) - Информационный сайт по системам экологического менеджмента
- [www.centerprioritet.ru](http://www.centerprioritet.ru) – СМЦ «Приоритет». Техническая документация исследований
- <http://www.nanometer.ru/> - "Нанометр". Нанотехнологическое сообщество
- <http://plasma.karelia.ru/pub/nano-kurs/> - «Нано Технологии»
- <http://www.nanonewsnet.ru/> - Нанотехнологии Nano news net
- <http://nano-portal.ru/> - Нано Портал. Нанотехнологии России
- <http://www.scirp.org/journal/Index.aspx> - Scientific research. Open Access
- <http://www.superhimik.com/forum.htm> - Золотые купола химии
- <http://www.intechopen.com/> - In Tech. Open Science
- <http://bookfi.org/g/> - BookFinder. Электронная библиотека рунета
- [http://www.twirpx.com/files/chidnustry/chemistry\\_tech/silicate/](http://www.twirpx.com/files/chidnustry/chemistry_tech/silicate/) - Технология силикатных материалов
- [www.sciyo.com](http://www.sciyo.com) - Sciyo. Free Scientific Books
- <http://www.rsl.ru> - Российская Государственная Библиотека

- <http://www.gpntb.ru> - Государственная публичная научно-техническая библиотека России
- <http://lib.msu.su> - Научная библиотека МГУ
- <http://window.edu.ru> - Полнотекстовая библиотека учебных материалов
- <http://abc-chemistry.org/ru/> - ABC-Chemistry. Научная химическая информация
- <http://www.fips.ru/cdfi/fips2009.dll> - Сайт ФИПС. Информация о патентах
- <http://findebookee.com/> - Поисковая система по книгам
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека

### **9.3 Средства обеспечения освоения дисциплины**

*(При необходимости)*

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных лекций – 64, (общее число слайдов – 1224);
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 40);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 40).

## **10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Современное технологическое и аппаратное оформление процессов химической технологии»* проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1 Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для студентов, оснащенные компьютерами с выходом в Интернет и доступом к базам данных.

### **11.2 Учебно-наглядные пособия:**

Комплекты плакатов к разделам лекционного дисциплины.

### **11.3 Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4 Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде.

### **11.5 Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## 12 ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1. Оборудование и технологии резки кристаллов</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование и технологии резки кристаллов и обработки подложек</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>
<p><b>Раздел 2. Оборудование и технологии обработки подложек</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование и технологии резки кристаллов и обработки подложек.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>

<p><b>Раздел 3. Оборудования для жидкостной химической обработки</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудования для жидкостной химической обработки.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>
<p><b>Раздел 4. Оборудование для парофазной обработки</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование для процессов PVD, CVD, ALD.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>



<p><b>Раздел 5. Оборудование и технологии для эпитаксии</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование и технологии для эпитаксии.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>
<p><b>Раздел 6. Оборудование и технологии литографии</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование и технологии различных видов литографии.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>

<p><b>Раздел 7. Оборудование и технологии термической обработки</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование и технологии термической обработки для проведения процессов отжига, окисления и диффузии.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №4 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (3 семестр)</p>
<p><b>Раздел 8. Оборудование и технологии плазмохимической обработки</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование и технологии плазмохимической обработки.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> </ul> <p>Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №4 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (3 семестр)</p>

<p><b>Раздел 9.</b> <b>Измерительное оборудование для контроля параметров материалов</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Измерительное оборудование для контроля параметров монокристаллических и вспомогательных материалов.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №5 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (3 семестр)</p>
<p><b>Раздел 10.</b> <b>Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ, веществ на основе неорганических и органических соединений.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №5 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (3 семестр)</p>
<p><b>Раздел 11.</b> <b>Оборудование для синтеза высокочистых веществ на основе неорганических соединений</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ, веществ на основе неорганических и органических соединений.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №6 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (3 семестр)</p>

	<p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 12.</b>  <b>Оборудование для синтеза высокочистых веществ на основе органических соединений</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оборудование для получения высокочистых элементарных веществ, веществ на основе неорганических и органических соединений.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Формулировать требования к технологическому оборудованию для получения гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>- Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Информацией о современных и перспективных методах получения пленок для различных приборов электроники.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №6 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (3 семестр)</p>

### **13 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Современные методы и оборудование для производства гетерофазных пленочных структур»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 «Химическая технология»

код и наименование направления подготовки (специальности)

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Современные методы и оборудование для производства монокристаллов  
для фотоники и электроники»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

К.т.н., доцентом кафедры химии и технологии кристаллов, К.А.Субботиным

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.



## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 18.04.01.68 Химическая технология (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 2 семестров.

Дисциплина «Современные методы и оборудование для производства монокристаллов для фотоники и электроники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплин по выбору учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области технологий выращивания монокристаллов, в частности – монокристаллов для фотоники и электроники.

**Цель дисциплины** состоит в углублении студентами магистратуры знаний, умений, владений и формировании компетенции в области проектирования и применения оборудования для выращивания и обработки монокристаллов в качестве основы технологий электроники, вакуумно-газовой техники в педагогической и научно-исследовательской деятельности.

### **Задачи дисциплины:**

- формирование у студентов магистратуры системных углубленных знаний и навыков в области проектирования оборудования для выращивания монокристаллов;
- формирование у студентов магистратуры системных углубленных знаний и навыков в области специфики применения различного вида оборудования в технологиях выращивания монокристаллов;
- формирование у студентов магистратуры системных углубленных знаний и навыков в области обработки монокристаллов.

Дисциплина «Современные методы и оборудование для производства монокристаллов для фотоники и электроники» преподается в 2 и 3 семестрах. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-1 Способен формулировать задачи в области химической технологии для самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы, разрабатывать планы их реализации и задания для исполнителей	ПК-1.1 Знает принципы планирования научной работы коллектива исполнителей исходя из целей, задач и ресурсов проведения НИОКР	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г.
			ПК-1.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок	
			ПК-1.3 Владеет приемами оценки материальных, кадровых и временных ресурсов, потребных для научного исследования	

				<p>N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>F/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p>
<p>Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и</p>	<p>ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники</p>	<p>ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и нанoeлектроники</p> <p>ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники -</p> <p>ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных характеристик материалов и изделий электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов</p>

	химико-технологического производства).			<p>производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н</p>
--	--	--	--	---

				<p>(ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- методы оценки уровня техники и совершенства установок для выращивания монокристаллов;
- классификацию, устройство и технические характеристики контейнеров для выращивания монокристаллов различными методами;
- виды контейнерных материалов для выращивания монокристаллов, их свойства и характеристики;
- классификацию, устройство, характеристики и методы расчета нагревателей для процессов роста кристаллов;
- виды материалов нагревателей для выращивания монокристаллов, их свойства и характеристики;
- виды датчиков процессов роста монокристаллов, их устройства, принцип работы и характеристики;
- виды дозаторов кристаллизующего вещества, их устройство, принцип действия и характеристики;
- принципы герметизации рабочих объемов установок для выращивания монокристаллов, виды уплотнений, их устройство и характеристики;
- виды, устройство и характеристики системы питания нагревателей, вакуумно-газовой системы, системы охлаждения, климатической системы, электрической системы и системы управления;
- методы обработки монокристаллов и виды оборудования, применяемого для этих процессов;

*Уметь:*

- осуществлять выбор конкретных видов оборудования для выращивания монокристаллов;
- осуществлять выбор конкретного оборудования для механической обработки монокристаллов;
- разрабатывать технические задания на проектирование оборудования для выращивания монокристаллов с повышенным уровнем техники и совершенства;
- разрабатывать технические задания на проектирование оборудования для механической обработки монокристаллов с повышенным уровнем техники и совершенства;
- осуществлять конструкторские расчеты характеристик нагревателей сопротивления, индукционных и газопламенных нагревателей;

*Владеть:*

- практическими навыками по сборке и наладке тепловых узлов установок для выращивания монокристаллов;
- практическими навыками диагностики работы системы питания нагревателей вакуумно-газовой системы, системы охлаждения и кинематической системы;

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего		Семестр			
			2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	180	2	72	3	108

Контактная работа – аудиторные занятия:	3	102	1.5	51	1.5	51
в том числе в форме практической подготовки	0,5	12	0,25	6	0,25	6
Лекции	1	34	0.5	17	05	17
Практические занятия (ПЗ)	2	68	1	34	1	34
в том числе в форме практической подготовки	0,5	12	0,25	6	0,25	6
Самостоятельная работа	2	78	0,5	21	1,5	57
Контактная самостоятельная работа	2	0,6	0,5	0,2	1,5	0,4
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		77,4		20,8		56,6
Виды контроля:						
Зачет			+			
Зач. с оценкой						+
Вид итогового контроля:			Зачет		Зач. с оценкой	

Вид учебной работы	Всего		Семестр			
			2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр . ч.	ЗЕ	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	135	2	54	3	81
Контактная работа – аудиторные занятия:	3	76.5	1.5	38.3	1.5	38.2
в том числе в форме практической подготовки	0,5	9	0,25	4.5	0,25	4.5
Лекции	1	25.5	0.5	12.8	05	12.7
Практические занятия (ПЗ)	2	51	1	25.5	1	25.5
в том числе в форме практической подготовки	0,5	9	0,25	4.5	0,25	4.5
Самостоятельная работа	2	58.5	0,5	15.8	1,5	42.7
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,5	0,15	1,5	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		58,1		15,6 5		42,4
Виды контроля:						
Зачет			+			
Зач. с оценкой						+
Вид итогового контроля:			Зачет		Зач. с оценкой	

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	Лекции	Прак. зан.	В т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Уровень техники и совершенство установок для выращивания монокристаллов. Состав и структура исполнительной системы.</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		<b>4</b>
1.1	Понятие «уровня техники».	4	1	1		2
1.2	Понятие «совершенства установки».	4	1	1		2
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Обслуживающие компоненты в исполнительной системе.</b>	<b>105</b>	<b>21</b>	<b>38</b>	<b>6</b>	<b>46</b>
2.1	Состав и структура исполнительной системы установок для выращивания монокристаллов.	4	1	1		2
2.2	Классификация контейнеров.	4	1	1		2
2.3	Общие технические требования к материалам контейнеров	4	1	1		2
2.4	Стойкость контейнерных материалов к различным видам газовых сред.	4	1	1		2
2.5	Платиновая группа металлов в качестве контейнерного материала.	5	1	2		2
2.6	Контейнерные материалы на основе жаропрочных сталей и сплавов.	5	1	2		2
2.7	Молибден и вольфрам в качестве контейнерных материалов.	5	1	2		2
2.8	Керамические оксидные материалы контейнеров.	5	1	2		2
2.9	Стекла в качестве контейнерных материалов.	5	1	2		2
2.10	Керамические неоксидные материалы контейнеров.	5	1	2		2
2.11	Полимерные контейнерные материалы.	5	1	2		2
2.12	Виды нагревателей, используемых для выращивания монокристаллов.	5	1	2		2



2.13	Технические требования к материалам нагревателей и их виды.	5	1	2		2
2.14	Основные виды датчиков.	7	1	2		4
2.15	Виды дозаторов кристаллизуемого вещества.	7	1	2		4
2.16	Принципы герметизации.	5	1	2		2
2.17	Ножевые уплотнения.	5	1	2		2
2.18	Самоуплотняющиеся затворы.	5	1	2		2
2.19	Конструкции уплотнений токовводов.	5	1	2		2
2.20	Уплотнения для подвижных контактов.	5	1	2		2
2.21	Герметизация окон кристаллизационной камеры.	5	1	2		2
<b>3.</b>	<b>Раздел 3. Обслуживающие системы установок для выращивания монокристаллов</b>	<b>57</b>	<b>9</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>24</b>
3.1	Системы питания газопламенных нагревателей.	4,75	0,75	2		2
3.2	Системы питания короткозамкнутых нагревателей сопротивления.	4,75	0,75	2		2
3.3	Системы питания высокоомных нагревателей сопротивления.	4,75	0,75	2		.2
3.4	Системы питания индукционных нагревателей.	4,75	0,75	2		2
3.5	Системы питания дуговых плазменных нагревателей.	4,75	0,75	2		2
3.6	Системы питания катодных (электронно-лучевых) нагревателей.	4,75	0,75	2		2
3.7	Состав и исходное проектирование вакуумно-газовой системы.	4,75	0,75	2		2
3.8	Открытая система охлаждения.	4,75	0,75	2		2
3.9	Замкнутая система охлаждения.	4,75	0,75	2		2
3.10	Виды кинематических систем и их исходное проектирование.	4,75	0,75	2		2
3.11	Виды электрических систем.	4,75	0,75	2		2
3.12	Исходное проектирование систем управления.	4,75	0,75	2		2
<b>4.</b>	<b>Раздел 4. Механическая обработка монокристаллов</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>4</b>		<b>4</b>
4.1	Технология раскроя монокристаллов.	5	1	2		2
4.2	Технология шлифовки и полировки монокристаллов.	5	1	2		2
	<b>ИТОГО</b>	<b>180</b>	<b>34</b>	<b>68</b>	<b>12</b>	<b>78</b>

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Уровень техники и совершенство установок для выращивания монокристаллов. Состав и структура исполнительной системы.**

- 1.1. Понятие «уровня техники».
- 1.2. Понятие «совершенства установки».

### **Раздел 2. Обслуживающие компоненты в исполнительной системе.**

- 2.1. Состав и структура исполнительной системы установок для выращивания монокристаллов.
- 2.2. Классификация контейнеров.
- 2.3. Общие технические требования к материалам контейнеров
- 2.4. Стойкость контейнерных материалов к различным видам газовых сред.
- 2.5. Платиновая группа металлов в качестве контейнерного материала.
- 2.6. Контейнерные материалы на основе жаропрочных сталей и сплавов.
- 2.7. Молибден и вольфрам в качестве контейнерных материалов.
- 2.8. Керамические оксидные материалы контейнеров.
- 2.9. Стекла в качестве контейнерных материалов.
- 2.10. Керамические неоксидные материалы контейнеров.
- 2.11. Полимерные контейнерные материалы.
- 2.12. Виды нагревателей, используемых для выращивания монокристаллов.
- 2.13. Технические требования к материалам нагревателей и их виды.
- 2.14. Основные виды датчиков.
- 2.15. Виды дозаторов кристаллизуемого вещества.
- 2.16. Принципы герметизации.
- 2.17. Ножевые уплотнения.
- 2.18. Самоуплотняющиеся затворы.
- 2.19. Конструкции уплотнений токовводов.
- 2.20. Уплотнения для подвижных контактов.
- 2.21. Герметизация окон кристаллизационной камеры.

### **Раздел 3. Обслуживающие системы установок для выращивания монокристаллов**

- 3.1. Системы питания газопламенных нагревателей.
- 3.2. Системы питания короткозамкнутых нагревателей сопротивления.
- 3.3. Системы питания высокоомных нагревателей сопротивления.
- 3.4. Системы питания индукционных нагревателей.
- 3.5. Системы питания дуговых плазменных нагревателей.
- 3.6. Системы питания катодных (электронно-лучевых) нагревателей.
- 3.7. Состав и исходное проектирование вакуумно-газовой системы.
- 3.8. Открытая система охлаждения.
- 3.9. Замкнутая система охлаждения.
- 3.10. Виды кинематических систем и их исходное проектирование.
- 3.11. Виды электрических систем.
- 3.12. Исходное проектирование систем управления.

### **Раздел 4. Механическая обработка монокристаллов**

- 4.1. Технология раскроя монокристаллов.
- 4.2. Технология шлифовки и полировки монокристаллов.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	<b>Знать:</b>				
1	– методы оценки уровня техники и совершенства установок для выращивания монокристаллов	+	+	+	+
2	– классификацию, устройство и технические характеристики контейнеров для выращивания монокристаллов различными методами	+			
3	– виды контейнерных материалов для выращивания монокристаллов, их свойства и характеристики	+			
4	– классификацию, устройство, характеристики и методы расчета нагревателей для процессов роста кристаллов	+			
5	– виды материалов нагревателей для выращивания монокристаллов, их свойства и характеристики	+			
6	– виды датчиков процессов роста монокристаллов, их устройства, принцип работы и характеристики		+		
7	– виды дозаторов кристаллизующего вещества, их устройство, принцип действия и характеристики		+		
8	– принципы герметизации рабочих объемов установок для выращивания монокристаллов, виды уплотнений, их устройство и характеристики		+		
9	– виды, устройство и характеристики системы питания нагревателей, вакуумно-газовой системы, системы охлаждения, климатической системы, электрической системы и системы управления			+	
10	– методы обработки монокристаллов и виды оборудования, применяемого для этих процессов				+
	<b>Уметь:</b>				
1	– осуществлять выбор конкретных видов оборудования для выращивания монокристаллов	+	+	+	+
2	– осуществлять выбор конкретного оборудования для механической обработки монокристаллов				+
3	– разрабатывать технические задания на проектирование оборудования для выращивания монокристаллов с повышенным уровнем техники и совершенства	+	+	+	+

4	– разрабатывать технические задания на проектирование оборудования для механической обработки монокристаллов с повышенным уровнем техники и совершенства				+
5	– осуществлять конструкторские расчеты характеристик нагревателей сопротивления, индукционных и газопламенных нагревателей		+		
<b>Владеть:</b>					
1	– практическими навыками по сборке и наладке тепловых узлов установок для выращивания монокристаллов		+		
2	– практическими навыками диагностики работы системы питания нагревателей вакуумно-газовой системы, системы охлаждения и кинематической системы			+	
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</b>					
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>			
1	ПК-1 Способен формулировать задачи в области химической технологии для самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы, разрабатывать планы их реализации и задания для исполнителей	ПК-1.1 Знает принципы планирования научной работы коллектива исполнителей исходя из целей, задач и ресурсов проведения НИОКР ПК-1.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок ПК-1.3 Владеет приемами оценки материальных, кадровых и временных ресурсов, потребных для научного исследования	+	+	+
2	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и нанoeлектроники ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники - ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных характеристик материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Примеры матриц связи систем установок для выращивания монокристаллов методом Чохральского и Киропулуса	0.5
2		Пути повышения совершенства установок для выращивания монокристаллов	0.5
3		Составление технических требований на контейнеры для выращивания монокристаллов различными методами и способами по заданию преподавателя	0.5
4		Выбор контейнерных материалов для различных методов и способов выращивания монокристаллов по заданию преподавателя	0.5
5	2	Конструкторский расчет газопламенных нагревателей с теплоизолирующими устройствами	4
6		Конструкторский расчет индукционных нагревателей с теплоизолирующими устройствами	4
7		Конструкторский расчет дугowych (плазменных) нагревателей с теплоизолирующими устройствами	3
8	3	Конструкторский расчет и выбор высоковакуумных систем	8
9		Конструкторский расчет и выбор форвакуумных систем	8
10		Конструирование систем управления установок для выращивания монокристаллов по техническому заданию преподавателя	8
11	4	Проектирования раскроя кристалла по техническому заданию преподавателя	4

### 6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума по дисциплине *«Современные методы оборудование для производства монокристаллов для фотоники и электроники»* не предусмотрено.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам дисциплины;

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;

- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к сдаче зачета (2 семестр) и зачета с оценкой (3 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 50 баллов, 30 и 30 баллов соответственно) и итогового контроля в форме *зачета с оценкой* (максимальная оценка 40 баллов).

### **8.1. Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

Реферативно-аналитическая работа по дисциплине не предусмотрена.

### **8.2. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 4 контрольных работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы 1 и 2 (2 семестр) составляет 50 баллов за каждую. Максимальная оценка за контрольные работы 3 и 4 (3 семестр) составляет 60 баллов, по 30 баллов за каждую работу:

**Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1. Контрольная работа содержит 1 вопрос, по 50 баллов за вопрос.**

#### **Вопрос 1.1.**

1. Деление устройства аппарата для выращивания монокристаллов на семь систем. Матрица связей между системами. Понятие уровня техники. Оценка уровня техники установок для выращивания монокристаллов.
2. Примеры оценок уровня техники установок для выращивания монокристаллов методом Вернейля в современном исполнении.
3. Примеры оценок уровня техники установок для выращивания монокристаллов методом Чохральского в современном исполнении.
4. Примеры оценок уровня техники установок для выращивания монокристаллов методом Киропулуса в современном исполнении.

#### **Вопрос 1.2.**

1. Понятие «совершенства установки». Оценка совершенства установки путем определения ее надежности. Вывод выражения определяющего зависимость вероятности сохранения работоспособности установки от средней вероятности сохранения работоспособности ее деталей, узлов и блоков, а также от числа деталей, узлов и блоков и продолжительности рабочего цикла технологической эксплуатации установки.
2. Пути повышения совершенства установок для выращивания монокристаллов.

**Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2. Контрольная работа содержит 1 вопрос, по 50 баллов за вопрос.**

**Вопрос 2.1.**

1. Состав и структура исполнительной системы установок для выращивания монокристаллов.

**Вопрос 2.2.**

1. Классификация контейнеров. Виды контейнеров для выращивания монокристаллов из расплавов; их конструкции, методы очистки, способы извлечения монокристаллов и слитков из них.

2. Назначение конуса расширения в контейнерах для выращивания монокристаллов методом Бриджмена.

3. Протяженность посадочного места для затравочного кристалла при выращивании монокристаллов методом Бриджмена.

4. Конструкции контейнеров для выращивания монокристаллов из растворов в расплаве методом понижения температуры, методом испарения растворителя и методом температурного перепада.

5. Конструкции контейнеров для выращивания монокристаллов гидротермальным методом.

6. Принципы герметизации. Ножевые уплотнения. Самоуплотняющиеся затворы. Особенности применения эластомеров для герметизации контейнеров.

7. Конструкции контейнеров для выращивания монокристаллов в низкотемпературных растворах; особенности герметизации контейнеров.

8. Конструкции контейнеров для выращивания монокристаллов в газовой фазе. Контейнеры для выращивания монокристаллов карбида кремния в газовой фазе.

**Вопрос 2.3.**

1. Общие технические требования к материалам контейнеров.

**Вопрос 2.4.**

1. Стойкость контейнерных материалов к различным видам газовых сред. Сублимация контейнерного материала и пути ее подавления.

**Вопрос 2.5.**

1. Платиновая группа металлов в качестве контейнерного материала. Маркировка и характеристики контейнерных материалов на основе жаропрочных сталей и сплавов.

**Вопрос 2.6.**

1. Контейнерные материалы на основе жаропрочных сталей и сплавов. Номенклатура жаропрочных сталей и сплавов. Их характеристики.

**Вопрос 2.7.**

1. Молибден и вольфрам в качестве контейнерных материалов. Их характеристики. Вольфрам-молибденовые сплавы.

**Вопрос 2.8.**

1. Корундовая, алундовая и вернейлевская керамики. Их характеристики.

2. Керамика на основе диоксида циркония как контейнерный материал. Его характеристики.

3. Керамика на основе оксида магния в качестве контейнерного материала. Его характеристики.

**Вопрос 2.9.**

1. Кварцевые стекла как контейнерные материалы. Их характеристики.
2. Лабораторное и термостойкое стекла в качестве контейнерных материалов. Их характеристики.

**Вопрос 2.10.**

1. Графит и ковалентные нитриды в качестве контейнерных материалов. Их характеристики.

**Вопрос 2.11.**

1. Фторопласты в качестве контейнерных материалов. Их характеристики.
2. Органические стекла в качестве контейнерных материалов. Их характеристики.

**Вопрос 2.12.**

1. Виды нагревателей, используемых для выращивания монокристаллов. Их устройство и конкретное назначение.

2. Нагреватели сопротивления. Короткозамкнутые и высокоомные нагреватели. Их преимущества и недостатки. Конструкции короткозамкнутых и высокоомных нагревателей сопротивления. Особенности нагревателей сопротивления на основе материалов с полупроводниковой или ионной проводимостью.

3. Конструкторский расчеты нагревателей сопротивления с теплоизолирующими устройствами. Виды теплоизолирующих устройств. Виды теплоизолирующих материалов и их характеристики.

4. Конструкции газопламенных нагревателей. Конструкторский расчет газопламенных нагревателей с теплоизолирующими устройствами.

5. Индукционные нагреватели. Конструкции индукционных нагревателей. Конструкторский расчет индукционных нагревателей с теплоизолирующими устройствами.

6. Конденсаторные нагреватели. Конструкции конденсаторных нагревателей. Конструкторский расчет конденсаторных нагревателей с теплоизолирующими устройствами.

7. Дуговые (плазменные) нагреватели. Конструкции дуговых (плазменных) нагревателей. Конструкторский расчет дуговых (плазменных) нагревателей с теплоизолирующими устройствами.

8. Радиационные нагреватели. Конструкции радиационных нагревателей. Конструкторский расчет радиационных нагревателей с теплоизолирующими устройствами.

9. Катодные (электронно-лучевые) нагреватели. Конструкции катодных (электронно-лучевых) нагревателей. Конструкторский расчет катодных (электронно-лучевых) нагревателей с теплоизолирующими устройствами.

**Вопрос 2.13.**

1. Общие технические требования, предъявляемые к материалам нагревателей.
2. Материалы платиновой группы для нагревателей сопротивления. Их характеристики.
3. Жаропрочные стали и сплавы для нагревателей сопротивления. Их характеристики.
4. Молибден и вольфрам для нагревателей сопротивления. Их характеристики.
5. Графит для нагревателей сопротивления. Их характеристики.
6. Силициды для нагревателей сопротивления. Их характеристики.
7. Хроми́т лантана и диоксид циркония для нагревателей сопротивления. Их характеристики.



**Вопрос 2.14.**

1. Основные виды датчиков, используемых для контроля процессов роста кристаллов.
2. Виды термопар и их характеристики.
3. Терморезистивные датчики и температуры. Их виды и характеристики.
4. Пирометры. Их виды и характеристики.
5. Датчики низкого вакуума. Их устройство и характеристики.
6. Датчики высокого вакуума. Их устройство и характеристики.
7. Датчики веса. Их устройство и характеристики.
8. Датчики уровня жидкости. Их устройство и характеристики.
9. Датчики скорости вращения и перемещения. Их устройство и характеристики

**Вопрос 2.15.**

1. Мембранные дозаторы для установок Вернейля.
2. Маятниковые дозаторы для выращивания монокристаллов гибридным методом.

**Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3. Контрольная работа содержит 1 вопрос, по 30 баллов за вопрос.****Вопрос 2.16.**

1. Основной принцип уплотнения сопрягаемых деталей. Пути создания когерентной шероховатости.

**Вопрос 2.17.**

1. Ножевые уплотнения аппаратов высокого давления.

**Вопрос 2.18.**

1. Самоуплотняющиеся затворы аппаратов высокого давления.

**Вопрос 2.19.**

1. Конструкции уплотнений токовводов для высоких и низких уровней электрического тока.

**Вопрос 2.20.**

1. Уплотнения для подвижных и перемещаемых контактов. Уплотнение Вильсона. Плавающие уплотнения.

**Вопрос 2.21.**

1. Герметизация окон кристаллизационной камеры. Герметизация пайкой

**Вопрос 3.1.**

1. Система питания газопламенного нагревателя: технические требования, предъявляемые к этой системе и их устройство.

**Вопрос 3.2.**

1. Системы питания короткозамкнутых нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.

**Вопрос 3.3.**

1. Системы питания высокоомных нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.

**Вопрос 3.4.**

1. Системы питания индукционных нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.

**Вопрос 3.5.**

1. Системы питания дуговых (плазменных) нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.

**Вопрос 3.6.**

1. Системы питания катодных (электронно-лучевых) нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство

**Вопрос 3.7.**

1. Конструкторский расчет и выбор форвакуумных систем. Конструкторский расчет и выбор высоковакуумных систем.

2. Системы подачи технологических газов. Квалификационные требования к технологическим газам. Хранение сжиженных газов. Хранение сжатых газов. Генераторы технологических газов. Нормативы газобаллонного хозяйства.

**Вопрос 3.8.**

1. Открытая система охлаждения: схема; достоинства и недостатки.

**Вопрос 3.9.**

1. Замкнутая система охлаждения: схема; достоинства и недостатки.

2. Градирни: виды, характеристики и устройство. Термостаты: виды, выбор, характеристики.

**Вопрос 3.10.**

1. Блок-схема кинематической системы для выращивания монокристаллов с применением двигателя постоянного тока.

2. Блок-схема кинематической системы для выращивания монокристаллов с применением синхронных двигателей переменного тока.

3. Блок-схема кинематической системы для выращивания монокристаллов с применением шагового двигателя.

4. Устройство механического редуктора вращения. Виды и устройство преобразователей движения. Гидравлические системы перемещения.

**Вопрос 3.11.**

1. Виды электрических систем. Блок-схема силовой электрической системы.

**Вопрос 3.12.**

1. Принципы конструирования систем управления. Структура пульта управления установок для выращивания монокристаллов. Особенности структуры пульта управления синхронизированных установок для выращивания монокристаллов.

**Раздел 4. Примеры вопросов к контрольной работе № 4. Контрольная работа содержит 1 вопрос, по 30 баллов за вопрос.**

**Вопрос 4.1.**

1. Виды механической обработки монокристаллов. Технологии раскроя кристаллов и оборудование для их осуществления.

#### **Вопрос 4.2.**

1. Технологии шлифовки и полировки кристаллов и оборудование для их осуществления.

#### **8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (2 семестр – зачет, 3 семестр – зачет с оценкой).**

Максимальное количество баллов за зачет (2 семестр ) – 100 баллов, за зачет с оценкой (3 семестр ) – 40 баллов.

##### **8.3.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (2 семестр – зачет).**

Итоговый контроль по дисциплине не предусмотрен.

##### **8.3.2 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – зачет с оценкой).**

Билет для зачета с оценкой включает контрольные вопросы по разделам 3 и 4 рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. 1 вопрос – 14 баллов, вопрос 2 – 13 баллов, вопрос 3 – 13 баллов.

1. Основной принцип уплотнения сопрягаемых деталей. Пути создания когерентной шероховатости.
2. Ножевые уплотнения аппаратов высокого давления. Самоуплотняющиеся затворы аппаратов высокого давления.
3. Конструкции уплотнений токовводов для высоких и низких уровней электрического тока.
4. Уплотнения для подвижных и перемещаемых контактов. Уплотнение Вильсона. Плавающие уплотнения.
5. Герметизация окон кристаллизационной камеры. Герметизация пайкой.
6. Система питания газопламенного нагревателя: технические требования, предъявляемые к этой системе и их устройство.
7. Системы питания короткозамкнутых нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.
8. Системы питания высокоомных нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.
9. Системы питания индукционных нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.
10. Системы питания дуговых (плазменных) нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.
11. Системы питания катодных (электронно-лучевых) нагревателей сопротивления: технические требования, предъявляемые к этим системам и их устройство.
12. Конструкторский расчет и выбор форвакуумных систем. Конструкторский расчет и выбор высоковакуумных систем.
13. Системы подачи технологических газов. Квалификационные требования к технологическим газам. Хранение сжиженных газов. Хранение сжатых газов. Генераторы технологических газов. Нормативы газобаллонного хозяйства.
14. Открытая система охлаждения: схема; достоинства и недостатки.
15. Замкнутая система охлаждения: схема; достоинства и недостатки.
16. Градири: виды, характеристики и устройство. Термостаты: виды, выбор, характеристики.

17. Блок-схема кинематической системы для выращивания монокристаллов с применением двигателя постоянного тока.
18. Блок-схема кинематической системы для выращивания монокристаллов с применением синхронных двигателей переменного тока.
19. Блок-схема кинематической системы для выращивания монокристаллов с применением шагового двигателя.
20. Устройство механического редуктора вращения. Виды и устройство преобразователей движения. Гидравлические системы перемещения.
21. Виды электрических систем. Блок-схема силовой электрической системы.
22. Принципы конструирования систем управления. Структура пульта управления установок для выращивания монокристаллов. Особенности структуры пульта управления синхронизированных установок для выращивания монокристаллов.
23. Виды механической обработки монокристаллов. Технологии раскроя кристаллов и оборудование для их осуществления.
24. Технологии шлифовки и полировки кристаллов и оборудование для их осуществления.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### 8.4. Структура и примеры билетов для зачета с оценкой (3 семестр).

**Зачет с оценкой** по дисциплине «Современные методы и оборудование для производства монокристаллов для фотоники и электроники» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам 3 и 4 рабочей программы дисциплины. Билет для **зачета с оценкой** состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **зачета с оценкой**:

<p>«Утверждаю» Заведующий кафедрой ХТК_ (Должность, наименование кафедры)</p> <p>И.Х.Аветисов_ (Подпись) (И. О. Фамилия)</p> <p>«__» _____ 20__ г.</p>	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра химии и технологии кристаллов
	18.04.01.68 Химическая технология Магистерская программа – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»
	Современные методы и оборудование для производства монокристаллов для фотоники и электроники
<p align="center"><b>Билет № 3</b></p> <p>1. Основной принцип уплотнения сопрягаемых деталей. Пути создания когерентной шероховатости.</p> <p>2. Система питания газопламенного нагревателя: технические требования, предъявляемые к этой системе и их устройство.</p> <p>3. Виды механической обработки монокристаллов. Технологии раскроя кристаллов и оборудование для их осуществления.</p>	

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Н. И. Леонюк, Е. В. Копорулина, Е. А. Волкова, В. В. Мальцев. Кристаллография: зарождение, рост и морфология кристаллов : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры . М.: Издательство Юрайт, 2018, 152 с.
2. Курс лекций «Кристаллография». 03.09.2019 [электронный ресурс] — Режим доступа: <http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/> (дата обращения: 12.04.2023)
3. А. А. Майер. Процессы роста кристаллов. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1999, 176 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. К.-Т. Вильке. Выращивание кристаллов. Л.: Недра, 1977, 600 с.
2. Х.С. Багдасаров. Высокотемпературная кристаллизация из расплава. М.: Физматлит, 2004, 160 с.
3. Т.Г. Петров, Е.Б. Трейвус, Ю.О. Пунин, А.П. Касаткин. Выращивание кристаллов из растворов. Л.: Недра, 1983, 200 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- «Кристаллография»
- Journal of Crystal Growth
- Crystal Research and Technology
- Cryst. Eng. Comm
- «Неорганические материалы»
- Journal of Non-Crystalline Solids.

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- Установки для выращивания монокристаллов на балансе РХТУ им. Д.И. Менделеева и ИОФ им. А.М. Прохорова РАН;
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 77);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 77).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Современные методы и оборудование для производства монокристаллов для фотоники и электроники»* проводятся в форме лекций и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Лекционная учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; учебная аудитория для проведения практических занятий, оборудованная электронными средствами демонстрации; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для студентов магистратуры, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Комплекты плакатов к разделам лекционного курса; макеты пространственных групп симметрии кристаллов; комплекты образцов полупроводниковых и диэлектрических кристаллов, органических и неорганических люминофоров, других материалов электронной техники; комплекты приборов электронной техники (электровакуумные приборы и полупроводниковые приборы).

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов

электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

#### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Операционная система Microsoft Windows 10 Education (Russian)	Подписка Microsoft Azure Dev Tools for Teaching соглашение от <b>31.01.2019</b> <b>ICM-169788,</b> <b>номер подписки IM91021,</b> <b>действительно до 30.01.2021,</b> <b>счет от 31.01.2019</b> <b>№ 9552830795</b>	Подписка не подразумевает количества лицензий	<b>30.01.2021</b>
2	Microsoft Visio Professional 2019 (Russian)	Подписка Microsoft Azure Dev Tools for Teaching, соглашение от <b>31.01.2019</b> <b>ICM-169788,</b> <b>номер подписки IM91021,</b> <b>действительно до 30.01.2021,</b> <b>счет от 31.01.2019</b> <b>№ 9552830795</b>	Подписка не подразумевает количества лицензий	<b>30.01.2021</b>

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1.</b> Уровень техники и совершенство установок для выращивания монокристаллов. Состав и структура исполнительной системы.</p>	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· деление устройства аппарата на семь систем;</li> <li>· методы оценки уровня техники и совершенства установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· примеры оценок уровня техники и совершенства установок для выращивания монокристаллов методом Вернейля, Чохральского и Киропулуса;</li> <li>· состав и структуру исполнительной системы установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· классификацию контейнеров для выращивания монокристаллов;</li> <li>· назначение конуса расширения в контейнерах для выращивания монокристаллов методом Бриджмена;</li> <li>· факторы управляющие протяженностью посадочного места для затравочного кристалла при выращивании монокристаллов методом Бриджмена;</li> <li>· конструкции контейнеров для выращивания монокристаллов различными методами;</li> <li>· принципы герметизации;</li> <li>· устройство ножевых и самоуплотняющихся затворов;</li> <li>· общие технические требования к материалам контейнеров;</li> <li>· стойкость различных контейнерных материалов к различным видам газовых сред;</li> <li>· свойства и характеристики металлов платиновой группы как контейнерных материалов;</li> <li>· свойства и характеристики контейнерных материалов на основе жаропрочных сталей и сплавов;</li> <li>· свойства и характеристики молибдена и вольфрама в качестве контейнерных материалов;</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <b>зачет</b> (2 семестр)</p>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>· свойства и характеристики керамических оксидных контейнерных материалов;</li> <li>· свойства и характеристики стекл в качестве контейнерных материалов;</li> <li>· свойства и характеристики керамических неоксидных материалов контейнеров;</li> <li>· свойства и характеристики полимерных контейнерных материалов;</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· выделить в устройстве данного аппарата для выращивания монокристаллов семь систем;</li> <li>· оценить уровень техники и совершенства данного аппарата для выращивания данного монокристалла;</li> <li>· описывать состав и структуру исполнительной системы данной установки для выращивания монокристаллов;</li> <li>· очищать различные контейнеры после процесса роста;</li> <li>· корректировать направление изменения угла конуса расширения контейнера при выращивании монокристаллов методом Бриджмена;</li> <li>· диагностировать недостаточную протяженность посадочного места для затравочного кристалла при выращивании монокристаллов методом Бриджмена;</li> <li>· выбрать тип и конструкцию контейнера для выращивания монокристаллов данным способом;</li> <li>· выбрать материал контейнера для данного способа выращивания монокристаллов;</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· приемами усовершенствования установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· приемами выбора вида и конструкции контейнера для</li> </ul>	
--	--	--

	<p>выращивания монокристаллов данным способом; – приемами выбора контейнерного материала для данного способа выращивания монокристаллов;</p>	
<p><b>Раздел 2.</b> Обслуживающие компоненты в исполнительной системе.</p>	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· типы и конструкции нагревателей для выращивания монокристаллов;</li> <li>· виды нагревателей сопротивления для выращивания монокристаллов;</li> <li>· виды теплоизолирующих устройств нагревателей для выращивания монокристаллов;</li> <li>· технические требования, предъявляемые к материалам нагревателей для выращивания монокристаллов;</li> <li>· свойства и характеристики материалов нагревателей для выращивания монокристаллов;</li> <li>· основные виды и характеристики датчиков для контроля процессов выращивания монокристаллов;</li> <li>· виды и конструкции дозаторов для процессов выращивания монокристаллов;</li> <li>· принципы и методы герметизации, используемые в установках для выращивания монокристаллов;</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· выбрать тип и вид нагревателя для данного способа выращивания монокристаллов;</li> <li>· рассчитывать параметры конструкции различных видов нагревателей и их теплоизолирующих устройств;</li> <li>· выбрать материал нагревателя для данного конкретного способа выращивания монокристаллов;</li> <li>· подобрать набор датчиков для контроля процесса выращивания монокристаллов;</li> <li>· разрабатывать конструкции дозаторов для выращивания монокристаллов;</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет</i> (2 семестр)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· конструировать различного вида уплотнения, используемые в установках для выращивания монокристаллов;</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· приемами выбора типов и видов нагревателей для выращивания монокристаллов;</li> <li>· приемами конструкторского расчета различного вида нагревателей для выращивания монокристаллов;</li> <li>· навыками выбора материалов нагревателей для данного конкретного способа выращивания монокристаллов;</li> <li>· приемами компоновки системы датчиков для контроля данного процесса выращивания монокристаллов;</li> <li>· навыками конструирования дозаторов для выращивания монокристаллов;</li> <li>– навыками конструирования уплотнений, используемых в установках для выращивания монокристаллов;</li> </ul>	
<p><b>Раздел 3.</b> Обслуживающие системы установок для выращивания монокристаллов.</p>	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· системы питания различных типов и видов нагревателей используемых для выращивания монокристаллов;</li> <li>· состав вакуумно-газовой системы и систем подачи технологических газов;</li> <li>· квалификационные требования к технологическим газам;</li> <li>· организацию хранения сжиженных и сжатых газов;</li> <li>· устройство и характеристики генераторов азота и кислорода;</li> <li>· нормативы газобаллонного хозяйства;</li> <li>· состав и характеристики различных систем охлаждения установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· назначение и виды кинематических систем установок для выращивания монокристаллов;</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <b>зачет с оценкой</b> (3 семестр)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· состав различного вида кинематических систем;</li> <li>· виды и состав электрических систем установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· общую структуру пульта управления установок для выращивания монокристаллов и особенности этой структуры для синхронизированных установок;</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· оценивать уровень техники и совершенства различных систем питания нагревателей;</li> <li>· конструировать вакуумно-газовые системы;</li> <li>· проектировать системы охлаждения установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· проектировать различного вида преобразователи движения;</li> <li>· проектировать электрические системы установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· конструировать системы управления установок для выращивания монокристаллов;</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· навыками подбора системы питания для данного вида нагревателя;</li> <li>· умением проводить конструкторские расчеты вакуумно-газовых систем;</li> <li>· навыками составления технических заданий на разработку вакуумно-газовых систем;</li> <li>· навыками составления технических заданий на разработку систем охлаждения установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>· навыками проектирования кинематических систем;</li> <li>· навыками проектирования электрических систем установок для выращивания монокристаллов;</li> <li>– навыками конструирования систем управления установок для выращивания монокристаллов;</li> </ul>	
--	---	--

<p><b>Раздел 4.</b> Механическая обработка монокристаллов.</p>	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· различные виды и способы механической обработки монокристаллов;</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· осуществлять выбор оборудования для механической обработки монокристаллов;</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками проектирования раскроя монокристаллов;</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №4 (3 семестр)</p> <p>Оценка за зачет с оценкой (3 семестр)</p>
--	---	---

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Современные методы и оборудование для производства монокристаллов для  
фотоники и электроники»**

**основной образовательной программы**  
18.04.01.68 Химическая технология  
магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»  
Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Современные методы и оборудование для производства, обработки и  
облагораживания ювелирных кристаллов»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**



Программа составлена:

Старшим преподавателем кафедры химии и технологии кристаллов, Э.А. Ахметшиным

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 18.04.01.68 Химическая технология, магистерская программа: Технология функциональных материалов электроники и фотоники, с рекомендациями методической комиссией РХТУ им. Д. И. Менделеева и накопленным опытом преподавания дисциплин профиля кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Дисциплина «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплин по выбору учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области технологий выращивания монокристаллов, в частности – монокристаллов для фотоники и электроники.

**Цель дисциплины** «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов» состоит в углубленном освоении студентами магистратуры технологий и их аппаратного сопровождения, оборудования для работы с природными и искусственными ювелирными камнями: механической обработкой, модифицированием свойств (облагораживанием), ростом искусственных кристаллов.

**Основными задачами** является формирование у студентов научного базиса и системных, углубленных знаний в области технологической геммологии, предметом исследования которой является, в том числе, разработка методов роста искусственных аналогов природных драгоценных камней, обработки и модифицирования как природных так и синтетических ювелирных камней; выработка системного подхода к изучению, применению и конструкционной оптимизации оборудования для производства и механической обработки ювелирных кристаллов и материалов. Исходя из задач, которые решает курс, и требований к знаниям и умениям студентов, программа курса включает следующие разделы: технология обработки – включает основные понятия и представления о механической обработке природных и синтетических кристаллов – абразивные материалы, факторы влияющие на формирование структурно-нарушенного слоя, виды и режимы обработки, аппаратура и оснастка; технология облагораживания – методы модифицирования качественных характеристик природных кристаллов; основные технологии искусственного получения ювелирных монокристаллов – методы выращивания, режимы, физическая химия процессов и др.

Дисциплина «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов» преподается во 2 и 3 семестрах. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## **2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Изучение дисциплины при подготовке магистров по направлению 18.04.01 – Химическая технология и профилю подготовки «Технология функциональных материалов электроники и фотоники», способствует формированию следующих компетенций:



Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-1 Способен формулировать задачи в области химической технологии для самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы, разрабатывать планы их реализации и задания для исполнителей	ПК-1.1 Знает принципы планирования научной работы коллектива исполнителей исходя из целей, задач и ресурсов проведения НИОКР	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н  Обобщенная трудовая функция  Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.  Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).
			ПК-1.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок	
			ПК-1.3 Владеет приемами оценки материальных, кадровых и временных ресурсов, потребных для научного исследования	

Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники»,</p>
			ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники	
			ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных характеристик материалов и изделий электроники и наноэлектроники	
	Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).			

				<p>утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	--

**В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:**

**Знать:**

основные технологии при работе с природными и искусственными кристаллами:

- методы обработки
- методы модифицирования
- методы роста и производства ювелирных материалов

новые и перспективные ювелирные материалы

оборудование для механической обработки

**Уметь:**

- Выбирать оптимальные технологии при обработки монокристаллов,
- Выбирать и применять технологии модифицирования свойств монокристаллов
- Модифицировать устройство типовых установок для роста и облагораживания ювелирных кристаллов.
  - Моделировать процессы роста ювелирных монокристаллов
  - Выполнять физико-химические расчеты процессов роста монокристаллов

**Владеть:**

- Навыком обработки природных и искусственных монокристаллов.
- Навыком проведения поисковых экспериментов по выбору оптимальных методов и усовершенствования экспериментального оборудования.
- Навыком проведения экспериментальных работ по производству и облагораживанию ювелирных монокристаллов.

### 3. ОБЪЕМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебной работы	Всего		Семестр			
			2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	180	2	72	3	108
Контактная работа – аудиторные занятия:	3	102	1.5	51	1.5	51
в том числе в форме практической подготовки	0,5	12	0,25	6	0,25	6
Лекции	1	34	0.5	17	05	17
Практические занятия (ПЗ)	2	68	1	34	1	34
в том числе в форме практической подготовки	0,5	12	0,25	6	0,25	6
Самостоятельная работа	2	78	0,5	21	1,5	57
Контактная самостоятельная работа	2	0,6	0,5	0,2	1,5	0.4
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		77,4		20,8		56,6
Виды контроля:						
Зачет			+			
Зач. с оценкой						+

Вид итогового контроля:			Зачет		Зач. с оценкой	
-------------------------	--	--	-------	--	----------------	--

Вид учебной работы	Всего		Семестр			
			2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	135	2	54	3	81
Контактная работа – аудиторные занятия:	3	76.5	1.5	38.3	1.5	38.2
в том числе в форме практической подготовки	0,5	9	0,25	4.5	0,25	4.5
Лекции	1	25.5	0.5	12.8	0.5	12.7
Практические занятия (ПЗ)	2	51	1	25.5	1	25.5
в том числе в форме практической подготовки	0,5	9	0,25	4.5	0,25	4.5
Самостоятельная работа	2	58.5	0,5	15.8	1,5	42.7
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,5	0,15	1,5	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		58,1		15,6 5		42,4
Виды контроля:						
Зачет			+			
Зач. с оценкой						+
Вид итогового контроля:			Зачет		Зач. с оценкой	

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Часов				
		Всего	Лек	ПЗ	СР	Зачет
1.	Раздел 1. Технология обработки.	53	20	24	28	
2.	Раздел 2. Технология облагораживания.	46	8	22	25	
3.	Раздел 3. Технология искусственных ювелирных монокристаллов.	45	6	22	25	
	Зачет с оценкой					
	<b>Всего часов</b>	<b>180</b>	<b>34</b>	<b>68</b>	<b>78</b>	

##### 3.2. Содержание разделов дисциплины

##### Раздел 1. Технология обработки.

Введение. Определение ювелирных кристаллов и материалов. Современная техническая классификация и пр. Цели и задачи механической обработки ювелирных камней и материалов. Основные понятия. Процессы абразивного воздействия;



шлифование и роль различных факторов в процессах абразивного разрушения. Структурно-нарушенный слой и связь его параметров с динамикой процессов. Роль смазывающе-охлаждающих жидкостей в процессе шлифования. Процессы механического полирования и требования к полированным поверхностям. Трибологические аспекты механической обработки. Физико-химическая, химическая, химико-механическая и др. методы полировки материалов. Номенклатура абразивных материалов. Типы связующих и номенклатура абразивных инструментов и оснасток. Современное оборудование и методы производства алмазного инструмента. Основные этапы, методы и оборудование для обработки ювелирных кристаллов. Сортировка сырья, приготовление к распиловке и разметка. Распиловочные и подрезные станки и пилы. Принцип действия и основные технические характеристики. Шлифовальные станки - принцип действия и основные технические данные. Грубая обдирка, шлифование и полирование. Физический смысл процессов, материалы и оснастка. Процесс изготовления кабошонов. Разметка, распиловка, наклейка, обдирка, шлифование и полирование. Формы кабошонов. Особенности изготовления кабошонов из разных материалов. Типы ограночных приспособлений. Процесс огранения. Разметка, распиловка и задание формы. Наклейка и переклейка. Огранение и полирование коронки и павильона. Промывка и упаковка ограненных камней. Форма ограненных камней. Расчет и оптимизация оптики и геометрии ограненных камней. Понятие о фантазийных формах огранки. Технология изготовления кр-17 и кр-57. Галтовка. Изготовление шаров. Сверление. Мозаика. Резьба по камню, раковине, кости. Технология, материалы и оборудование. Новые перспективные методы обработки. Отличие технологии обработки ювелирных и технических монокристаллических материалов. Контроль качества обработки, основные методы и особенности. Оборудование для контроля качества.

## **Раздел 2. Технология облагораживания.**

Введение. Облагораживание и модифицирование свойств материалов, применение терминов и различие в понятиях. Правила СИВЮ (Международная конфедерация по ювелирным камням, изделиям из серебра, алмазам и жемчугу) относительно облагороженных камней. Определение качественных характеристик природных кристаллов. Понятие о сортности и критерии выделения сортов материалов. Классификация методов модифицирования качественных характеристик ювелирных монокристаллов. Условия проведения процессов, определяющие особенности методов. Термообработка, НРНТ, НТЛР, облучение, метод ионной имплантации, метод ионного перемешивания. Химические методы облагораживания. Условия проведения процессов, определяющие особенности методов. Химическое крашение. Физико-химические методы модифицирования свойств природных монокристаллов. Термодиффузия, пропитка, импрегнирование, диффузия из газовой среды. Облагораживание природных монокристаллов. Физико-химические основы модифицирования свойств природных монокристаллов. Использование типового оборудования для облагораживания природных и искусственных кристаллов и материалов. Модифицирование типовых установок и особенности проведения поисковых экспериментов. Облагораживание природных монокристаллов. Модифицирование драгоценных камней (алмаз, сапфир, изумруд и др.). Модифицирование ювелирных камней 2, 3 и 4 категории. Экономическая целесообразность модифицирования, выбор методов облагораживания на различных примерах.

### **Раздел 3. Технология искусственных ювелирных монокристаллов.**

Введение. Цели и задачи искусственного получения ювелирных монокристаллов и материалов. Различия в подходах по росту технических и ювелирных монокристаллов. Физико-химические основы процессов синтеза шихты и роста кристаллов. Моделирование природных процессов кристаллообразования. Экспериментальная и техническая минералогия и петрология. Расплавные методы роста ювелирных монокристаллов. Варианты методов (методы Стокбаргера – Бриджмена, Багдасарова, Чохральского и др.) и стандартное оборудование для выращивания монокристаллов. Условия, особенности, физхимия процессов, аппаратура и оснастка. Раствор-расплавные методы роста. Солевые расплавы (флюсы) и их активаторы. Особенности массопереноса в расплавах. Стандартное оборудование для роста монокристаллов раствор-расплавным методом и пути его модифицирования. Условия, особенности, физхимия процессов, аппаратура и оснастка. Гидротермальные методы роста. Основные понятия и представления о гидротермальном методе. Автоклавные и их футеровка. Нагреватели. Изотермические и градиентные автоклавные системы роста. Условия, особенности, физхимия процессов и оборудование для промышленного гидротермального роста. Активаторы раствора и их роль в процессе роста. Химические методы синтеза ювелирных материалов (на примере опала, малахита и бирюзы). Оборудование и особенности методов. Обзорные материалы по производству имитаций ювелирных камней природного и искусственного происхождения. Стекла и стеклокристаллические материалы - особенности технологий производства и модифицирования. Технология варки стекла, особенности, физхимия процессов. Процессы кристаллизации в стеклах. Контроль характеристик и качества получаемых ювелирных стекол и стеклокристаллических материалов. Технология получения ювелирных вставок аномально анизотропных (оптически) одно- и двусных стекол. Механизм, особенности. Полимерные и композитные материалы. Основные представления, технология получения изделий из полимеров и композитных материалов для ювелирной промышленности, особенности и проблемы производства. Механизм процессов получения новых материалов. Новые и нетрадиционные ювелирные материалы. Технологии получения и проблемы производства ювелирных материалов.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	<b>Знать:</b>				
1	- Современные методы и оборудование для обработки ювелирных кристаллов и материалов		+		
2	- Современные методы и оборудование для облагораживания природных и искусственных ювелирных кристаллов			+	
3	- Современные методы и оборудование для производства искусственных ювелирных кристаллов и материалов				+
4	- Нетрадиционные методы полировки		+		
	<b>Уметь:</b>				
5	- Выбирать оптимальные технологии обработки монокристаллов		+	+	
6	- Выбирать и применять технологии облагораживания свойств монокристаллов			+	
7	- Модифицировать устройство типовых установок для роста, облагораживания и обработки ювелирных кристаллов.		+	+	+
	<b>Владеть:</b>				
8	- Навыком обработки природных и искусственных монокристаллов		+	+	+
9	- Навыком проведения поисковых экспериментов по выбору оптимальных методов и усовершенствования экспериментального оборудования.		+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <i>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</i>					
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>			
10	ПК-1 Способен формулировать задачи в области химической технологии для самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы, разрабатывать планы их реализации и задания для исполнителей	ПК-1.1 Знает принципы планирования научной работы коллектива исполнителей исходя из целей, задач и ресурсов проведения НИОКР	+	+	+
11		ПК-1.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок	+	+	+
12		ПК-1.3 Владеет приемами оценки материальных, кадровых и временных ресурсов, потребных для научного исследования	+	+	+
13	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники.	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники.	+	+	+
14		ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники.	+	+	+
15		ПК-5.3 Владеет способами измерения функциональных характеристик материалов и изделий электроники и наноэлектроники.	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Учебным планом подготовки студентов магистратуры по направлению 18.04.01 – Химическая технология и профилю подготовки «Технология функциональных материалов электроники и фотоники» предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов». Практические занятия проводятся под руководством преподавателя и направлены на углубление теоретических знаний, полученных студентами магистратуры на лекционных занятиях и при самостоятельном изучении материалов дисциплины; формирование понимания по применению теоретических знаний на практике и закрепления полученного навыка по обработки природных и искусственных ювелирных монокристаллов, проведения поисковых экспериментов по выбору оптимальных методов и усовершенствования экспериментального оборудования для роста искусственных и облагораживания природных ювелирных камней и материалов.

Примерный перечень практических занятий:

№ пп	Раздел	Темы практических (семинарских) занятий	Часы
1	1.	– Изучение процессов шлифования. Влияние связующих и номенклатуры абразивных материалов на шероховатость получаемой поверхности. Методы измерения шероховатости.	– 4
2		– Изготовление кабошонов. Применение различных методов изготовления в зависимости от типов обрабатываемых материалов.	– 4
3		– Огранение ювелирных камней и материалов. Изготовление кр-57. Изучение и контроль брака. Модифицирование технологии и оборудования в зависимости от обрабатываемого материала.	– 3
4		– Ультразвуковое и вращательное сверление. Изготовление отверстий в хрупко-разрушаемых и пластичных материалах.	– 3
5	2.	– Облагораживание ювелирных монокристаллов методами термообработки: а) природные сапфиры; б) дымчатый кварц; в) берилл (желтый). Влияние среды и режимов термообработки на полученный цвет. Изучение возможности ремиссии цвета.	– 4
6		– Импрегнирование природных и искусственных ювелирных камней (выборочно) полимерными композициями и солевыми расплавами. Анализ полученных результатов методами микроскопии и др.	– 3
7		– Химическое крашение ювелирных материалов	– 3

		органогенного происхождения. Применение различных красителей.	
8	3.	– Рост монокристаллов ювелирного назначения. Исследование монокристаллического корунда полученными методами – Вернеля, Бриджмена, Чохральского, раствор-расплавным методом. 3.2.	– 4
9		– Получение искусственной бирюзы. Изготовление шихты, её модифицирование и прессование. Получение опала путём гидролиза ТЭОС. Влияние режимов гидролиза и концентрации компонентов на процессы гелеобразования.	– 4

## 6.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов» (Б1.В.ДВ.02.03) предусмотрена самостоятельная работа студента магистратуры в объеме 21 ч в 1 семестре и 57 ч во 2 семестре. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам курса;
- подготовка докладов и презентаций по темам практических работ;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов и др.;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в работе тематических форумов в сети интернет;
- подготовку к сдаче зачета по курсу.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Текущий контроль знаний осуществляется посредством 3 контрольных работ, которые выполняются после прохождения соответствующего модуля дисциплины. Основная часть программы «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов», включающей 3 модуля, завершается задачей соответствующего зачета, который является важнейшей контрольной и оценочной точкой в системе обучения студентов магистратуры.

**Контрольная 1 по темам 1 раздела. Ориентировочные краткие вопросы.**  
**Максимальная оценка – 20 баллов.**

1. Современная техническая классификация. Влияние порочности и прочностных свойств на отношение к технологическим группам.
2. Цели и задачи механической обработки ювелирных камней и материалов. Какие виды обработки можно отнести к механическим? Перечислить другие виды обработки поверхности материалов. Основные понятия.
3. Процессы абразивного воздействия; шлифование и роль различных факторов в процессах абразивного разрушения. Структурно-нарушенный слой и связь его параметров с динамикой процессов. Как изменяется скорость шлифования в зависимости: от давления на образец; температуры процесса; скорости вращения режущего инструмента; размера абразивного зерна?
4. Роль и задачи смазывающе-охлаждающих жидкостей в процессе шлифования.
5. Процессы механического полирования и требования к полированным поверхностям. Какая шероховатость допустима для полированной поверхности? Трибологические аспекты механической обработки.
6. Физико-химическая, химическая, химико-механическая и др. методы полировки материалов. Допустимо ли использовать избирательный травитель при химико-механической полировке?
7. Номенклатура абразивных материалов. Перечислить современные стандарты и расसेвы алмазного зерна, используемого в промышленности. Типы связующих и номенклатура абразивных инструментов и оснасток. Значение индексов маркировки (на примере).
8. Сортировка сырья, приготовление к распиловке и разметка. Распиловочные и подрезные станки и пилы. Принцип действия и основные технические характеристики. Шлифовальные станки - принцип действия и основные технические данные.
9. Грубая обдирка, шлифование и полирование. Физический смысл процессов, материалы и оснастка.
10. Процесс изготовления кабошонов. Разметка, распиловка, наклейка, обдирка, шлифование и полирование. Формы кабошонов. Особенности изготовления кабошонов из разных материалов.
11. Типы ограночных приспособлений. Процесс огранения. Разметка, распиловка и задание формы. Наклейка и переклейка. Огранение и полирование коронки и павильона. Промывка и упаковка ограненных камней. Форма ограненных камней. Расчет и оптимизация оптики и геометрии ограненных камней. Понятие о фантазийных формах огранки.
12. Технология изготовления кр-17 и кр-57. Контроль качества обработки, основные методы и особенности. Оборудование для контроля качества.

**Контрольная 2 по темам 2 раздела. Ориентировочные краткие вопросы.**  
**Максимальная оценка – 20 баллов.**

1. Облагораживание и модифицирование свойств материалов-применение терминов и различие в понятиях. Правила СИВЖО (Международная конфедерация по

ювелирным камням, изделиям из серебра, алмазам и жемчугу) относительно облагороженных камней.

2. Определение качественных характеристик природных кристаллов ювелирного назначения. Понятие о сортности и критерии выделения сортов природных и искусственных ювелирных кристаллов и материалов в обработанном виде. Кондиции природного ювелирного сырья. Как влияет облагораживание на кондиции?

3. Физические методы модифицирования ювелирных кристаллов. Примеры и возможные результаты. Например: при каких температурах происходит улучшение цветовых характеристик природного сапфира; роль атмосферы термообработки на полученный фазовый состав и цвет.

4. Физическо-химические методы модифицирования ювелирных кристаллов. Примеры и возможные результаты. Условия проведения процессов, определяющие факторы методов и их аппаратура.

5. Химические методы модифицирования ювелирных кристаллов. Примеры и возможные результаты. Использование полимеров для импрегнирования. Примеры использования химических и пигментных красителей, различие в механизме окрашивания.

**Контрольная 3 по темам 3 раздела. Ориентировочные краткие вопросы.**  
**Максимальная оценка – 20 баллов.**

1. Искусственное получение ювелирных монокристаллов и материалов – главные цели и задачи. Природные ресурсы и их ограниченность. Соотношение стоимости природных и выращенных кристаллов по стоимости и др. параметрам. Какая себестоимость искусственного ювелирного кристалла, в отношении к природному аналогу, позволяет сделать процесс успешным?
2. Физико-химические основы процессов синтеза шихты и роста кристаллов. Различие в подходах по росту технических и ювелирных монокристаллов.
3. Моделирование природных процессов кристаллообразования. Экспериментальная и техническая минералогия и петрология. Оборудование для моделирования и методология проведения экспериментов. Примеры модельных экспериментов (на примере кордиерита и изумруда).
4. Расплавные методы роста ювелирных монокристаллов. Варианты методов. Перечислить, указать отличительные особенности.
5. Особенности метода Чохральского. Примеры. Какая используется атмосфера при росте лейкосапфира в молибденовом тигле и почему? Зачем придают вращение затравочному кристаллу? Отличие классического метода и метода Степанова.
6. Особенности метода Стокбаргера – Бриджмена. Где и почему располагается диафрагма? Типы нагревателей.
7. Особенности метода Багдасарова. Как влияет скорость перемещения «лодочки» на качество получаемого кристалла? Почему рост начинают в зоне контейнера с зауженным мыском?
8. Раствор-расплавные методы роста. Роль солевого расплава. Методы подбора флюса и факторы влияющие на его активность. Примеры использования тех или иных флюсов для роста ювелирных разновидностей монокристаллов.

9. Гидротермальные методы роста. Автоклав и его футеровка. Какие предельные давления используются при росте искусственного кварца и какие соли используются для активации гидротермального раствора? Как активаторы раствора влияют на скорость роста и качество получаемых монокристаллов? Для чего используются контрольные кристаллы при промышленном гидротермальном росте?
10. Химические методы синтеза ювелирных материалов. Как влияет контроль состава питающих растворов на цвет полученного малахита? Как получают сложный рисунок на искусственно полученном малахите?

## **8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (Зачет с оценкой)**

Максимальная оценка – 40 баллов.

1. Цели и задачи механической обработки ювелирных камней и материалов. Определение ювелирных кристаллов и материалов.
2. Процессы абразивного воздействия; шлифование и роль различных факторов в процессах абразивного разрушения.
3. Структурно-нарушенный слой и связь его параметров с динамикой процессов.
4. Роль смазывающе-охлаждающих жидкостей в процессе шлифования.
5. Процессы механического полирования и требования к полированным поверхностям.
6. Физико-химическая, химическая, химико-механическая и др. методы полировки материалов. Краткая характеристика и различие в методах.
7. Номенклатура абразивных материалов. Примеры зарубежных и российских стандартов.
8. Типы связующего для алмазного инструмента и влияние на параметры шлифования.
9. Технология изготовления кабошонов. Краткое описание и технологическая карта процесса.
10. Технология изготовления огранки из ювелирных кристаллов. Краткое описание и технологическая карта процесса.
11. Контроль качества обработки, основные методы и особенности. Оборудование для контроля качества. Весовой контроль.
12. Исследование шероховатости. Профилометрия.
13. Модифицирование свойств ювелирных кристаллов и материалов, применение терминов и различие в понятиях. Правила CIBJO (Международная конфедерация по ювелирным камням, изделиям из серебра, алмазам и жемчугу) относительно облагороженных камней.
14. Определение качественных характеристик природных кристаллов. Понятие о сортности и критерии выделения сортов материалов. Кондиции сырья и проблема мировых запасов сырья.
15. Физические методы модифицирования ювелирных кристаллов. Основы методов. Примеры, оборудование и режимы; возможные результаты и их вариативность (для природных ювелирных кристаллов).



16. Физическо-химические методы модифицирования ювелирных кристаллов. Примеры и возможные результаты. Условия проведения процессов, определяющие факторы методов и их оборудование. Возможные результаты и их вариативность (для природных ювелирных кристаллов)
17. Химические методы модифицирования ювелирных кристаллов.
18. Цели и задачи получения ювелирных монокристаллов и материалов.
19. Моделирование природных процессов кристаллообразования. Экспериментальная и техническая минералогия и петрология. Оборудование для моделирования и методология проведения экспериментов.
20. Расплавные методы искусственного получения ювелирных монокристаллов. Варианты методов.
21. Раствор-расплавные методы роста ювелирных кристаллов.
22. Солевые расплавы и особенности массопереноса раствор-расплавных методах роста.
23. Гидротермальные методы роста ювелирных кристаллов. Изотермические и градиентные автоклавные системы. Оборудование для промышленного гидротермального роста.
24. Химические методы синтеза ювелирных материалов (на примере опала, малахита и бирюзы).

### 8.3. Структура и пример билетов к зачету

Зачет с оценкой по дисциплине «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов» включает контрольные вопросы по всем разделам учебной программы дисциплины. Билет состоит из 2 вопросов, относящихся к разным разделам курса. Вопросы билета предусматривают развернутые ответы студента по достаточно объемной тематике. Ответы на вопросы оцениваются из 40 баллов – по 20 баллов за ответ на один вопрос.

Пример билета к зачету:

<p>«Утверждаю» Руководитель программы</p> <p>_____20__</p> <p>И.Х. Аветисов</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология Магистерская программа «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Современные методы характеристики и контроля качества монокристаллических и нано-структурированных материалов и пленочных структур технического и ювелирного назначения</b>
<p align="center"><b>Билет № 1</b></p> <p>1. Номенклатура абразивных материалов. Перечислить современные стандарты и рассевы алмазного зерна, используемого в промышленности. Типы связующих и номенклатура абразивных инструментов и оснасток. Значение индексов</p>	

маркировки (на примере).

2. Физическо-химические методы модифицирования ювелирных кристаллов. Примеры и возможные результаты. Условия проведения процессов, определяющие факторы методов и их оборудование. Возможные результаты и их вариативность (для природных ювелирных кристаллов)

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### *А. Основная литература*

1. А. А. Майер. Процессы роста кристаллов. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1999

#### *Б. Дополнительная:*

2. З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. Технология шлифования в машиностроении. — Санкт-Петербург: Политехника, 2007. — 425 с
3. Елифанов В.И. Технология обработки алмазов в бриллианты: Учеб.пособие/В.И.Елифанов, А.Я.Песина, Л.В.Зыков. — 5-е изд., репринтное. — Якутск: Бичик, 2001. — 336с.: ил.
4. В.С. Балицкий, Е.Е. Лисицина. Синтетические аналоги и имитации природных драгоценных камней. Москва, «Недра», 1981, 158 стр.
5. Ю.П. Солодова, М.В. Николаев, К.К. Курбатов, и др. Геммология алмаза: учебник — Москва 2008. — 416 стр.
6. Рид.П. Геммология. — М., Изд-во «Мир», 2003. 366 с.
7. Дьяков А.А., Гаврин П.С. «Выпуск 3. Последовательность обработки бриллианта Кр-57 при огранке низа с клиньев и огранке низа с граней: технологические карты» (учебно-методическое пособие). 2007г
8. Синкенкес Дж. Руководство по обработке драгоценных и поделочных камней: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 423 с., ил.
9. А.В.Ножкина, В.И.Костиков, А.Н. Варенков «Физико-химические свойства и процессы получения алмаза и других высокотвердых материалов» учебное пособие М., МИСИС 1986г.32с
10. Г. Смит Драгоценные камни. Москва, «Мир», 1980
11. А.Н. Платонов, М.Н. Таран, В.С. Балицкий Природа окраски самоцветов. Москва, «Недра», 1984
12. Б. Андерсон Определение драгоценных камней. Москва, «Мир», 1983, 556 стр.

13. Элуэлл Д. Искусственные драгоценные камни. М., Мир, 1986.

14. K. Nassau. Gemstone Enhancement, Butterworth-Heinemann; 2 edition, 272 p.; 1994, Language: English

## 9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

### Научно-технические журналы:

- Журнал «Кристаллография» ISSN - 0023-4761
- Журнал «American Mineralogist» ISSN - 0003-004X
- Журнал «Gems & Gemology (Gemological Institute of America)» ISSN - 0016-626X
- Журнал «Современные наукоемкие технологии» ISSN - 1812-7320
- Журнал «Петрология» ISSN - 0869-5903
- Журнал «Минералогия» ISSN - 2313-545X
- Журнал «Mineral Resources Engineering» ISSN - 0950-6098
- Журнал «Journal of Crystal Growth» ISSN - 0022-0248
- Журнал «Crystal Research and Technology» ISSN - 0232-1300
- Журнал «Cryst. Eng.Comm» ISSN - 1466-8033
- Журнал «Неорганические материалы» ISSN – 0002-337X
- «Журнал неорганической химии»
- Journal of Non-Crystalline Solids.
- Аэрокосмический научный журнал
- ОПТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
- Машиностроение
- Фундаментальные исследования
- Успехи современного естествознания

### Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет

- <http://e.lanbook.com>: Электронная библиотека «Лань»
- <http://lib.muctr.ru>: Электронно-библиотечная система ИБЦ РХТУ им. Д.И.Менделеева
- <http://onlinelibrary.wiley.com>: Издательство Wiley
- [www.centerprioritet.ru](http://www.centerprioritet.ru): СМЦ «Приоритет» - техническая документация исследований
- <https://www.reaxys.com>: База данных Reaxys и Reaxys Medicinal Chemistry
- <http://www.scopus.com>: База данных Scopus
- <http://apps.webofknowledge.com>: Ресурсы Clarivate Analytics
- <http://pubs.rsc.org>: Royal Society of Chemistry
- <https://scifinder.cas.org>: База данных SciFinder
- <https://www.sciencedirect.com>: Платформа ScienceDirect от Elsevier
- <http://www.scirp.org>: Scientific Research. Open Access
- <http://www.intechopen.com>: In Tech. Open Science
- <http://bookfi.org>: BookFinder - электронная библиотека
- <http://www.rsl.ru>: Российская Государственная Библиотека
- <http://www.gpntb.ru>: Государственная публичная научно-техническая библиотека России
- <http://lib.msu.su>: Научная библиотека МГУ
- <http://window.edu.ru>: Библиотека учебных материалов
- <http://abc-chemistry.org>: ABC-Chemistry - химическая информация
- <http://www.fips.ru>: Информация о патентах от ФИПС
- <http://elibrary.ru>: Научная электронная библиотека

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных практических занятий;
- комплекты ограненных и кабошонированных ювелирных камней – презентационный материал;
- оборудованный учебный класс, оснащенный: распиловочные станки – 2шт.; подрезные – 2шт.; универсальные шлифовальные – 3 шт.; экспериментальные шлифовальные – 1шт. (1 в резерве);
- оборудованная лаборатория, оснащенная: печь с хромид-лантановыми нагревателями (рабочая температура до 1650°C); печь с нихромовым нагревателем (рабочая температура до 1200°C) 2 шт.; примеры гидротермальных автоклавов 8 шт;
- расходные материалы для проведения практических занятий – сырьё природных и искусственных ювелирных камней и материалов; тигли и реактивы;
- библиотека тематической литературы более 450 книг;
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины.

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «Современные методы и оборудование для производства, обработки и облагораживания ювелирных кристаллов» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося в магистратуре.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Комплекты ограненных и кабошонированных ювелирных камней; комплекты расходных материалов для проведения практических занятий – сырьё природных и искусственных ювелирных камней и материалов; тигли и автоклавы, модели молекул и кристаллов для демонстрации типов колебаний при составлении колебательного представления в методах спектроскопии КР и ИК.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

### **11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## **12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ**

<b>Наименование раздела</b>	<b>Основные показатели оценки</b>	<b>Формы и методы контроля и оценки</b>
Раздел 1.Технология обработки.	<i>знает:</i> – Современные методы и оборудование для обработки	Оценка за контрольную работу

	<p>ювелирных кристаллов и материалов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Нетрадиционные методы полировки <b>умеет:</b></li> <li>– Выбирать оптимальные технологии обработки монокристаллов</li> <li>– Модифицировать устройство типовых установок для роста, облагораживания и обработки ювелирных кристаллов</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыком обработки природных и искусственных монокристаллов</li> <li>– Навыком проведения поисковых экспериментов по выбору оптимальных методов и усовершенствования экспериментального оборудования.</li> </ul>	<p>Оценка за реферат</p> <p>Оценка за курсовую работу</p> <p>Оценка на зачете</p>
Раздел 2. Технология облагораживания.	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные методы и оборудование для облагораживания природных и искусственных ювелирных кристаллов</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбирать и применять технологии облагораживания свойств монокристаллов</li> <li>– Модифицировать устройство типовых установок для роста, облагораживания и обработки ювелирных кристаллов..</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыком обработки природных и искусственных монокристаллов</li> <li>– Навыком проведения поисковых экспериментов по выбору оптимальных методов и усовершенствования экспериментального оборудования.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу</p> <p>Оценка за реферат</p> <p>Оценка за курсовую работу</p> <p>Оценка на зачете</p>
Раздел 3. Технология искусственных ювелирных монокристаллов.	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные методы и оборудование для производства искусственных ювелирных кристаллов и материалов</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Модифицировать устройство типовых установок для роста, облагораживания и обработки</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу</p> <p>Оценка за реферат</p> <p>Оценка за курсовую работу</p> <p>Оценка на зачете</p>

	ювелирных кристаллов. <i><b>владеет:</b></i> – Навыком обработки природных и искусственных монокристаллов – Навыком проведения поисковых экспериментов по выбору оптимальных методов и усовершенствования экспериментального оборудования.	
--	---	--

### 13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Современные методы и оборудование для производства, обработки и  
облагораживания ювелирных кристаллов»  
основной образовательной программы**

18.04.01 «Химическая технология»

магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «_____»____20__г.
2.		протокол заседания Ученого совета №_____от «_____»____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «_____»____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «_____»____20__г.



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов  
химической технологии»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена

К.х.н., ассистент кафедры химии и технологии кристаллов Зыкова М. П

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **химии и технологии кристаллов** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Современное технологическое и аппаратное оформление процессов химической технологии»** относится к **обязательной** части дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области химической технологии монокристаллов и гетерофазных пленочных структур, оборудования и основ проектирования предприятий по производству монокристаллов и гетерофазных пленочных структур.

**Цель дисциплины** – дать студентам знания об основных компонентах основных средств производства высокочистых веществ и изделий электронной компонентной базы, а также расширить знания о методах проектирования чистых помещений, включая системы воздухообмена, очистки воды, подготовки жидких реактивов, холодоснабжения, энергообеспечения.

### **Задачи дисциплины:**

- изучение характеристик конструкционных материалов и особенностей технологий создания «чистых зон»;
- изучение систем и особенностей проектирования систем электро-, воздухо- и холодообеспечения для чистых помещений;
- изучение систем и особенностей проектирования систем производства чистых газов;
- изучение систем и особенностей проектирования систем подготовки воды и жидких химикатов для технологий электроники.

Дисциплина **«Современное технологическое и аппаратное оформление процессов химической технологии»** преподается в 1-ом семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

### **Общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Наименование категории (группы) ОПК	Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК
Инженерная и технологическая подготовка	ОПК-3 Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов,	ОПК-3.1 Знает современные тенденции развития соответствующего направления химической промышленности ОПК-3.2 Знает технологические основы организации современных химических производств соответствующего профиля

	заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку	<p>ОПК-3.3 Знает современные требования к аппаратурному оформлению основных процессов соответствующего направления химической промышленности</p> <p>ОПК-3.4 Знает конструкцию современного технологического оборудования соответствующего профиля</p> <p>ОПК-3.5 Умеет составлять и анализировать современные технологические схемы основных процессов соответствующего профиля, а также их оптимизировать и наполнять передовым современным оборудованием</p> <p>ОПК-3.6 Умеет выбирать оборудование для конкретных технологических процессов с учётом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов</p> <p>ОПК-3.7 Умеет находить нестандартные решения задач технологического и аппаратурного оформления процессов химической технологии соответствующего профиля</p> <p>ОПК-3.8 Умеет квалифицированно оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов</p> <p>ОПК-3.9 Умеет применять в профессиональной деятельности современные технологии и оборудование</p> <p>ОПК-3.10 Владеет современными представлениями о передовых технологиях и оборудовании соответствующего направления химической промышленности</p> <p>ОПК-3.11 Владеет навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов соответствующего профиля</p>
--	---	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

**Знать:**

- Современные тенденции развития химической промышленности.
- Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.
- Современные требования к аппаратурному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.
- Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.

**Уметь:**

- Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники.
- Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.
- Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.
- Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.

**Владеть:**

- Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.
- Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.

**3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ**

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,5</b>	<b>51</b>	<b>38,5</b>
Лекции	0,5	17	12
Практические занятия (ПЗ)	1	34	25,5
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>0,5</b>	<b>21</b>	<b>15,75</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	1,5	21	15,75
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контрольная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Экзамен</b>		

**4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ****4.1 Разделы дисциплины и виды занятий**

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Прак. зан.	Сам. работа
1.	Раздел 1. Конструкции чистых помещений	22	4	8	10
2.	Раздел 2. Системы воздухообеспечения в чистых помещениях	22	4	8	10

3.	<b>Раздел 3. Системы холодоснабжения</b>	14	2	4	8
4.	<b>Раздел 4. Системы производства и хранения чистых газов</b>	20	2	6	12
5.	<b>Раздел 5. Независимые энергетические установки</b>	14	2	4	8
6	<b>Раздел 6. Водоподготовка и подготовка жидких химикатов</b>	16	2	4	10
	<b>ИТОГО</b>	108	16	34	58

## 4.2 Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Конструкции чистых помещений

- 1.1. Конструкционные материалы и технологии их применения в создании чистых помещений.
- 1.2. Технология шлюзов для чистых помещений.
- 1.3. Технология боксов для чистых помещений.

### Раздел 2. Системы воздухообеспечения в чистых помещениях

- 2.1. Центральные и прецизионные кондиционеры.
- 2.2. Вытяжные вентиляторы и скрубберы.
- 2.3. Фильтровентиляционные модули.

### Раздел 3. Системы холодоснабжения

- 3.1. Чиллеры водо- и воздухоохлаждаемые.
- 3.2. Компрессорно-конденсаторные блоки.
- 3.3. Градирни сухие и мокрые.

### Раздел 4. Системы производства и хранения чистых газов

- 3.1. Электролизеры.
- 3.2. Генераторы.
- 3.3. Адсорбционные ресиверы.
- 3.4. Осушители и фильтры.
- 3.5. Криогенные резервуары.
- 3.6. Воздушные испарители, криосепараторы.
- 3.7. Криогенные насосы и трубопроводы.
- 3.8. Газобаллонные шкафы, газовые панели, газораспределительные шкафы.
- 3.9. Системы смешения газов и паров.
- 3.10. Фильтры и фильтрующие сборки. Очистители, газопоглотители, диффузоры.
- 3.11. Скрубберы.
- 3.12. Трубопроводы и арматура для чистых газов.

### Раздел 5. Независимые энергетические установки

- 4.1. Дизельные и газовые энергостанции.
- 4.2. Когенерационные установки.
- 4.3. Адсорбционные холодильные установки.

- 4.4. Статические источники бесперебойного питания.
- 4.5. Динамические источники бесперебойного питания.

#### **Раздел 6. Водоподготовка и подготовка жидких химикатов**

- 5.1. Станции подготовки деионизированной воды.
- 5.2. Высокочистые клапаны, фитинги и трубопроводы для сверхчистой воды.
- 5.3. Дозирующие насосы, фильтры, контроллеры, анализаторы для сверхчистой воды.
- 5.4. Емкости для чистой воды и химических реактивов.
- 5.5. Шкафы приготовления и подачи чистых химических растворов и суспензий.
- 5.6. Шкафы сбора и удаления отработанных химических растворов.
- 5.7. Системы контроля утечки жидких химикатов.
- 5.8. Высокочистые клапаны, диафрагменные насосы, расходомеры, измерители давления, фитинги.

## 5 СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6
	<b>Знать:</b>							
1	– Современные тенденции развития химической промышленности.		+					
2	– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.			+	+	+	+	+
3	– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.			+	+	+	+	
4	– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.			+	+	+	+	
	<b>Уметь:</b>							
5	– Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники.			+	+	+	+	+
6	– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.			+	+	+	+	
7	– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.		+	+	+	+	+	+
8	– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.			+	+			
	<b>Владеть:</b>							
9	– Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.		+	+	+	+	+	+
10	– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.		+	+	+	+	+	+
	<b>Код и наименование ОПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ОПК</b>						



7	ОПК-3 Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку.	ОПК-3.1 Знает современные тенденции развития соответствующего направления химической промышленности.	+			+		
		ОПК-3.2 Знает технологические основы организации современных химических производств соответствующего профиля.	+					
		ОПК-3.3 Знает современные требования к аппаратному оформлению основных процессов соответствующего направления химической промышленности.	+	+	+	+	+	+
		ОПК-3.4 Знает конструкцию современного технологического оборудования соответствующего профиля.	+	+	+	+	+	+
		ОПК-3.5 Умеет составлять и анализировать современные технологические схемы основных процессов соответствующего профиля, а также их оптимизировать и наполнять передовым современным оборудованием.	+	+				+
		ОПК-3.6 Умеет выбирать оборудование для конкретных технологических процессов с учётом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.		+	+	+	+	+
		ОПК-3.7 Умеет находить нестандартные решения задач технологического и аппаратного оформления процессов химической технологии соответствующего профиля.	+				+	

	ОПК-3.8 Умеет квалифицированно оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов.		+	+	+	+	+
	ОПК-3.9 Умеет применять в профессиональной деятельности современные технологии и оборудование.	+					
	ОПК-3.10 Владеет современными представлениями о передовых технологиях и оборудовании соответствующего направления химической промышленности.	+	+	+	+	+	+
	ОПК-3.11 Владеет навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов соответствующего профиля.	+					+

## 6 ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1 Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1,2,3,4,5,6	Подготовка презентации по одной из тем:  1. Требования к помещению для производства микропроцессоров на уровне 130 нм. 2. Радон-free помещения. 3. Способы контроля частиц в высокочистых газах. 4. Методы получения и хранения высокочистых газов для микроэлектроники. 5. Контроль частиц в высокочистых жидкостях для микроэлектроники (вода, кислоты, растворители). 6. Современное оборудование предприятий производства чипов ИМС. 7. Чистые помещения в фармакопее. 8. Конструкционные материалы в производстве высокочистых материалов. 9. Чистые помещения в пищевой промышленности. 10. Требования к помещению для формирования OLED структур.	34

### 6.2. Лабораторные занятия

Лабораторных занятий по дисциплине «Современное технологическое и аппаратное оформление процессов химической технологии» не предусмотрено.

## 7 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает следующие виды:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку реферата по тематике курса на основе проработки рекомендованной литературы и работы с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал,

законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

Учебной программой дисциплины «Современное технологическое и аппаратное оформление процессов химической технологии» предусмотрена самостоятельная работа студента в объеме 108 акад. час., в том числе самостоятельное изучение разделов дисциплины и выполнение домашних заданий в объеме 58 акад. час., на выполнение практической работы 34 акад. час.

## **8 ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине в 1 семестре складывается из оценок за контрольные работы (максимальная оценка каждой 20 баллов), практическая работа (максимальная оценка 20 баллов).

### **8.1 Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

Практическая работа по дисциплине выполняется в 1 семестре в часы, выделенные учебным планом на самостоятельную работу. Максимальная оценка проекта – 20 баллов.

Примерные тематики курсовых проектов:

1. Требования к помещению для производства микропроцессоров на уровне 130 нм.
2. Радон-free помещения.
3. Способы контроля частиц в высокочистых газах.
4. Методы получения и хранения высокочистых газов для микроэлектроники.
5. Контроль частиц в высокочистых жидкостях для микроэлектроники (вода, кислоты, растворители).
6. Современное оборудование предприятий производства чипов ИМС.
7. Чистые помещения в фармакопей.
8. Конструкционные материалы в производстве высокочистых материалов.
9. Чистые помещения в пищевой промышленности.
10. Требования к помещению для формирования OLED структур.

### **8.2 Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 3 контрольных работы (по одной контрольной работе на каждые 2 раздела). Максимальная оценка за контрольные работы составляет 20 баллов за каждую.

**Раздел 1-2.**

**Примеры вопросов теста**

**Тест № 1.** В некоторых заданиях может быть несколько правильных ответов, нужно выбрать все.

Вопрос №1: Какое количество классов подразумевает российский ГОСТ ИСО 14644-2002?	
Варианты ответов	
1	6
2	7

3	8
4	9
5	не ограничено
Вопрос №2: Протокол испытаний для чистых помещений согласно ГОСТ ИСО 14644-2002 должен включать:	
Варианты ответов	
1	<b>наименование, адрес проверяющей организации и дату проведения испытаний; обозначение настоящего стандарта; планировку испытываемого чистого помещения или чистой зоны (с информацией о соседних зонах, при необходимости) и координаты всех точек отбора проб; данные о назначении чистого помещения или чистой зоны с указанием классов чистоты, классификацию по ИСО, соответствующее состояние чистых помещений и заданные размеры частиц; данные об использованном методе испытаний, включая любые специальные условия, относящиеся к испытаниям или к отклонениям от метода испытаний, а также данные о приборе для испытаний и копию действующего сертификата калибровки; результаты испытаний, включая данные по концентрации частиц для всех точек отбора проб.</b>
2	наименование, адрес проверяющей организации и дату проведения испытаний; обозначение настоящего стандарта; планировку испытываемого чистого помещения или чистой зоны (с информацией о соседних зонах, при необходимости) и координаты всех точек отбора проб; данные о назначении чистого помещения или чистой зоны с указанием классов чистоты, классификацию по ИСО, соответствующее состояние чистых помещений и заданные размеры частиц; результаты испытаний, включая данные по концентрации частиц для всех точек отбора проб.
3	наименование, адрес проверяющей организации и дату проведения испытаний; обозначение настоящего стандарта; планировку испытываемого чистого помещения или чистой зоны (с информацией о соседних зонах, при необходимости) и координаты всех точек отбора проб; данные о назначении чистого помещения или чистой зоны с указанием классов чистоты, классификацию по ИСО, соответствующее состояние чистых помещений и заданные размеры частиц; данные об использованном методе испытаний, включая любые специальные условия, относящиеся к испытаниям или к отклонениям от метода испытаний, а также данные о приборе для испытаний и копию действующего сертификата калибровки.
4	Произвольное заполнение протокола
Вопрос №3: Помещение для производства микросхем, расстояние между проводниками составляет менее 2 мкм должно соответствовать классу	
Варианты ответов	
1	не ниже ISO0
2	нет требований
3	<b>не ниже ISO4</b>
4	не ниже ISO8
5	не ниже ISO15
Вопрос №4: Примеры загрязнений, генерируемых операторами:	
Варианты ответов	
1	<b>Частицы: чешуйки кожи, волосы, ресницы</b>
2	<b>Жиры – Испарения из носа (риск попадания в окружающую среду Na и K</b>
3	Частишки кварцевых волокон
4	Ни один из вышеперечисленных вариантов

Вопрос №5: Для передачи объектов исследований между различными по чистоте комнатами могут быть использованы	
Варианты ответов	
1	Передаточные каналы
2	<b>Передаточные боксы</b>
3	<b>Передаточные шлюзы</b>
4	Переход оператора с образцами из одной чистой комнаты в другую
5	Ни один из вышеперечисленных вариантов
Вопрос №6: Устройство, используемое для очистки твёрдых или газообразных сред от примесей в различных химико-технологических процессах	
Варианты ответов	
1	Чиллер
2	<b>Скруббер</b>
3	Компрессорный блок
4	Градирня
5	Холодильные установки
Вопрос №7: Ультрачистая вода для пробоподготовки должна иметь (1 тип по ASTM, NCCLS, ISO 3696)	
Варианты ответов	
1	<b>удельное сопротивление не ниже 18,18 МОм*см при 25 °С</b>
2	удельное сопротивление не ниже 16,0 МОм*см при 25 °С
3	удельное сопротивление не ниже 18,2 МОм*см при 30 °С
4	<b>Максимальное содержание кремния 0,003 мг/л</b>
5	Содержание кремния не регламентируется
Вопрос №8: Стадии получения ультрачистой воды	
Варианты ответов	
1	Минерализация
2	<b>Обратный осмос</b>
3	<b>Дистилляция</b>
4	<b>Ионный обмен</b>
5	Ни один из вышеперечисленных
Вопрос №9: Не критическими загрязнителями для микроэлектроники являются	
Варианты ответов	
1	Вибрации
2	Влажность и температура
3	Следы примесей различных металлов (Na, K, Ca, Fe, Ni, Cr, Cu и Zn)
4	Частицы более 0,3 мкм
5	<b>Пирогены</b>
Вопрос №10: В стадию получения ультрачистой воды не входит	
Варианты ответов	
1	<b>Минерализация</b>
2	Обратный осмос
3	Дистилляция
4	Ионный обмен
Вопрос №11: Перечислите международные и российские стандарты чистых помещений:	
Варианты ответов	
1	<b>ГОСТ ИСО 14644-2002</b>
2	<b>GMP</b>
3	<b>AFNOR X44101</b>

4	Не один из выше перечисленных
Вопрос №12: Аккумулирование электростатических зарядов могут привести к	
Варианты ответов	
1	Изменению поведения операторов
2	Изменению влажности в помещении
3	<b>Взрыву в присутствии порошков и газов</b>
4	Снижению качества очистки воздуха через фильтры
5	<b>Осаждению частиц на поверхности</b>
Вопрос №13: К физическим методам осушки газов относятся	
Варианты ответов	
1	<b>Адсорбция (цеолиты, силикагели)</b>
2	<b>Мембраны</b>
3	<b>Конденсация на холоду</b>
4	Использование серной кислоты
5	Использование $\text{CaCl}_2$
Вопрос №14: К химическим методам осушки газов относятся	
Варианты ответов	
1	Адсорбция (цеолиты, силикагели)
2	Мембраны
3	Конденсация на холоду
4	<b>Использование серной кислоты</b>
5	<b>Использование <math>\text{CaCl}_2</math></b>
Вопрос №15: Помещение для производства оптических волокон должно соответствовать классу	
Варианты ответов	
1	не ниже ISO0
2	нет требований
3	<b>не ниже ISO6</b>
4	не ниже ISO9
5	не ниже ISO15
Вопрос №16: Какие полимерные материалы обладают высокой устойчивостью к воздействию сильных кислот и щелочей при нагревании до 200 °C?	
Варианты ответов	
1	<b>PTFE (Политетрафторэтилен)</b>
2	PS (Полистирол)
3	PEHP (Полиэтилен высокого давления)
4	PP (Полипропилен)
5	PC (Поликарбонат)
6	<b>PVC (Поливинилхлорид)</b>
Вопрос №17: Для того чтобы добиться нужных параметров воздуха в чистых комнатах, вентиляционные системы...	
Варианты ответов	
1	снижают поток, создавая избыточное давление
2	создают перекрёстный поток
3	создают равновесие воздушных потоков между двумя соседними помещениями
4	снижают поток, создавая недостаточное давление
5	<b>нагнетают поток, создавая избыточное давление</b>
Вопрос №18: Для обеспечения стабильности работы оборудования в случаях возникновения неисправности в электросети требуется устанавливать	
Варианты ответов	

1	конденсаторы
2	выпрямители тока
3	<b>источники бесперебойного питания</b>
4	предохранитель
Вопрос №19: Для охлаждения нагреваемых участков в оборудовании используют	
Варианты ответов	
1	<b>Воздухохлаждаемые и водоохлаждаемые чиллеры</b>
2	Скрубберы
3	<b>Кондиционеры</b>
4	Открытые окна
5	не один из перечисленных выше вариантов
Вопрос №20: Для производства кислорода и азота из воздуха используют	
Варианты ответов	
1	<b>Адсорбционные установки</b>
2	<b>Криогенные установки</b>
3	Элементы Пельтье
4	<b>Мембранные установки</b>
5	Вентиляторы

Примеры вопросов к контрольной работе № 1. Максимальная оценка – 20 баллов.

### 8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – вид контроля экзамен).

1. Перечислите области использования чистых помещений. Какие бывают классы чистых помещений в РФ и по международным стандартам? Какой класс помещения используют для производства интегральных микросхем с расстоянием между проводниками менее 2 мкм.

2. Способы получения высокочистой воды для микроэлектроники. Какие размеры частиц и какой концентрации контролируют в ультрачистой воде?

3. Статическое электричество в чистых помещениях. Почему оно опасно для производства микросхем? Методы борьбы со статическим электричеством.

4. Способы получения высокочистой серной кислоты для микроэлектроники.

5. Организация воздушных потоков в чистых помещениях и методы их контроля.

6. Перечислите механизмы фильтрации воздуха от частиц, применяемые в HEPA-фильтрах.

7. Перечислите способы фильтрации воздуха от частиц. Что такое рециркуляция воздуха в чистых помещениях. Как она организована и где применяется?

8. Источники радона. Где используют и как контролируют радон-free помещения?

9. Перечислите основные параметры окружающей среды в чистых помещениях. Как и где возникают вихревые потоки в чистых помещениях? Где образуются застойные зоны?

10. Гигиена персонала. Основные требования к персоналу, работающему в чистых помещениях. Из каких материалов изготавливают лабораторные перчатки (преимущества и недостатки).

11. Виды лабораторной посуды. Материалы, используемые для работы с высокочистыми жидкостями. Преимущества и недостатки полипропиленовой и политетрафторэтиленовой посуды.

12. Аттестация чистых помещений. Когда и на каких этапах проводится? Что включает аттестация чистых помещений? Методы контроля чистых помещений.



13. Классификация химических реактивов по степени чистоты и опасности в странах РФ, Европейского союза и США. Паспорт безопасности химической продукции.
14. Перечислите основные требования к высокочистым газам, применяемым в микроэлектронике. Способы получения высокочистых газов.
15. Способы транспортировки и хранения высокочистых газов.
16. Типы воды в микроэлектронике. Способы контроля частиц в ультрочистых жидкостях.
17. Характерные дефекты в микросхемах, вызванные попаданием частиц. Методы снижения вероятности попадания частиц в процесс изготовления микросхем. Хранение и транспортировка кремниевых пластин.
18. Адсорбционная осушка газа. Основные преимущества и недостатки.
19. Правила организации воздушных потоков в чистых помещениях. Методы их контроля и визуализации.
20. Перечислите области использования чистых помещений. Какие бывают классы чистых помещений в РФ и по международным стандартам? Как организованы мобильные зоны и в чем их отличие от стационарных зон?
21. Способы получения высокочистой перекиси водорода для микроэлектроники.

## **9 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1 Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Высокочистые вещества. Коллектив авторов. М., Научный мир, 2018, 996 с.
2. Гусева, Е. В. Организация чистых помещений. Применение изоляторных технологий [Текст] : учебное пособие / Е. В. Гусева, А. Ю. Троянkin, Н. В. Меньшутина. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. - 56 с.
3. Старостин И.И., Гапонюк Н.А. Исследование микроклимата воздуха рабочих зон производственных помещений. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. 2016. 20с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. Карпов Ю. А., Савостин А. П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. Издательство "Лаборатория знаний" (ранее "БИНОМ. Лаборатория знаний"). 2020. 246с.
2. Камлюк В. С, Камлюк Д. В. Технологическое оборудование для микроэлектроники: учебное пособие. Республиканский институт профессионального образования. 2014. 314с.
3. Бохан К. А. Системы кондиционирования воздуха: учебное пособие. Брянский государственный аграрный университет. 2008. 174с.
4. Дзидзигури Э.Л., Лёвина В.В. Ультрадисперсные системы. Хранение и транспортировка ультрадисперсных материалов Издательство "МИСИС". 2005. 30с.
5. Ананьев В.А., Балужева Л. Н., Гальперин А. Д., Городов А. К., Еремин М. Ю., Звягинцева СМ., Мурашко В. П., Седых И. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика В. Изд. 3-е. — М.: Евроклимат, 2001. 416 с.
6. Уайт В. Проектирование чистых помещений Пер. с англ. М.: Клинрум, 2004. -360 с.
7. ГОСТ Р 8.694-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы материалов (веществ). Общие статистические принципы определения метрологических характеристик.
8. ГОСТ Р ИСО 14644 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Части 1-10.

## 9.2 Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Реферативный журнал «Химия» (РЖХ), серия 19С «Химия»
- Журнал Неорганические материалы. ISSN: 0002-337X
- Журнал Физика твердого тела. ISSN: 0367-3294
- Журнал Известия ВУЗов. Материалы электронной техники. ISSN: 1609-3577
- Journal of Solid State Chemistry. ISSN: 0022-4596.
- Physica Status Solidi A. ISSN: 1862-6300
- Рекламные материалы ведущих производителей кристаллов и материалов электронной техники.

### Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет

- <https://www.mt.com/ru/ru/home/library/guides> - Электронное руководство: принципы проектирования в соответствии с санитарными требованиями. МЕТТЛЕР ТОЛЕДО
- <http://www.14000.ru> - Информационный сайт по системам экологического менеджмента, энерго- и ресурсоэффективным технологиям производства
- <http://www.centerprioritet.ru> – СМЦ «Приоритет» - техническая документация исследований (ИКСИ) – заказ литературы, русскоязычные издания
- <http://www.scirp.org/journal/Index.aspx> - Scientific research. Open Access
- <http://www.intechopen.com/> - In Tech. Open Science
- <http://bookfi.org/g/> - BookFinder. Самая большая электронная библиотека рунета. Поиск книг и журналов
- <http://www.sciyo.com> - Welcome to Sciyo! Read, download & share more than 273 FREE SCIENTIFIC BOOKS
- <http://www.rsl.ru> - Российская Государственная Библиотека
- <http://www.gpntb.ru> - Государственная публичная научно-техническая библиотека России
- <http://lib.msu.su> - Научная библиотека Московского государственного университета
- <http://window.edu.ru> - полнотекстовая библиотека учебных и учебно-методических материалов
- <http://abc-chemistry.org/ru/> - ABC-Chemistry : Бесплатная научная химическая информация
- <http://www.fips.ru/cdfi/fips2009.dll> - сайт ФИПС. Информация о патентах
- <http://findebookee.com/> - поисковая система по книгам
- <http://elibrary.ru> - научная электронная библиотека

## 9.3 Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных лекций – 14, (общее число слайдов – 458);
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 60);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 35).

## 10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной

литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Современное технологическое и аппаратное оформление процессов химической технологии»* проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1 Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для студентов, оснащенные компьютерами с выходом в Интернет и доступом к базам данных.

### **11.2 Учебно-наглядные пособия:**

Комплекты плакатов к разделам лекционного дисциплины.

### **11.3 Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4 Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде.

### **11.5 Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## 12 ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1. Конструкции чистых помещений</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные тенденции развития химической промышленности.</li> <li>– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.</li> <li>– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.</li> <li>– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.</li> <li>– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных тенденциях в аппаратном</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка за курсовой проект</p>

	<p>оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 2. Системы воздухообеспечения в чистых помещениях</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные тенденции развития химической промышленности.</li> <li>– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.</li> <li>– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.</li> <li>– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.</li> <li>– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка за курсовой проект</p>

	<p>водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 3. Системы холоснабжения</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные тенденции развития химической промышленности.</li> <li>– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.</li> <li>– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.</li> <li>– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (1 семестр)</p> <p>Оценка за курсовой проект</p>

	<p>физико-химических свойств перерабатываемых материалов.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 4. Системы производства и хранения чистых газов</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные тенденции развития химической промышленности.</li> <li>– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.</li> <li>– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники..</li> <li>– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (1 семестр)</p> <p>Оценка за курсовой проект</p>

	<p>химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.</li> <li>– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 5. Независимые энергетические установки</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные тенденции развития химической промышленности.</li> <li>– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.</li> <li>– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формулировать требования к</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (1 семестр)</p>



	<p>технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники..</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.</li> <li>– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.</li> <li>– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 6. Водоподготовка и подготовка жидких химикатов</b></p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современные тенденции развития химической промышленности.</li> <li>– Технологические основы организации современных химических производств и помещений в области электроники и фотоники.</li> <li>– Современные требования к аппаратному оформлению процессов химической технологии в области производства высокочистых материалов для фотоники и электроники.</li> <li>– Технологические и</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (1 семестр)</p>

	<p>эксплуатационные требования к оборудованию для производства высокочистых материалов и изделий фотоники и электроники.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формулировать требования к технологическому и аппаратному оформлению процессов химической технологии материалов для фотоники и электроники..</li> <li>– Оценивать эффективность разрабатываемых и существующих химико-технологических процессов получения материалов и изделий фотоники и электроники.</li> <li>– Осуществлять выбор оборудования для технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств перерабатываемых материалов.</li> <li>– Составлять технологические схемы и оптимизировать в соответствии с современными требованиями системы водоснабжения, хранения чистых газов, производство высокочистых веществ.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных тенденциях в аппаратном оснащении современных промышленных помещений и лаборатории для изготовления различных приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Навыками разработки современных инновационных химико-технологических процессов, включая основные требования к аппаратному оформлению и поддержанию процессов химической технологии.</li> </ul>	
--	--	--

### **13 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов**  
**химической технологии»**

основной образовательной программы

18.04.01 «Химическая технология»

магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ДИАГНОСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЮВЕЛИРНЫХ  
МОНОКРИСТАЛЛОВ (ГЕММОЛОГИЯ)»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

Старшим преподавателем кафедры химии и технологии кристаллов Э.А. Ахметшиным

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 18.04.01. Химическая технология, магистерская программа: Технология функциональных материалов электроники и фотоники, с рекомендациями методической комиссии РХТУ им. Д. И. Менделеева и накопленным опытом преподавания дисциплин профиля кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 3 семестров.

Дисциплина «Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов (геммология)» относится части дисциплин учебного плана, формируемых участниками образовательных отношений, дисциплинам по выбору. Программа предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области общей химии, математики, физики, физической химии, кристаллографии, кристаллооптики, минералогии (и др. материаловедческих дисциплин) и физической электроники.

**Цель дисциплины** – обучение студентов магистратуры основным знаниям, умениям, навыкам в диагностики и классификации ювелирных камней, материалов с позиции физхимии твердого тела и геммологии. В разделах дисциплины раскрываются основные понятия геммологи как науки о ювелирных камнях, даны различные типы классификаций (геммологическая, промышленная, технологическая и др.), приведены основные методы диагностики и изучения природных монокристаллов, дано детальное описание природных монокристаллов в соответствии с современной систематикой. В продолжении программы обучения осуществляется переход в изложении материала курса от природных к так называемым модифицированным (облагороженным) природным и искусственным монокристаллам и материалам. Здесь показаны кратко основные методы облагораживания, а также рассмотрены примеры модифицированных природных и искусственных материалов, нашедших в настоящее время широкое применение. В заключении дисциплины рассмотрены искусственные материалы, являющиеся аналогами природных монокристаллов. Все темы разделов курса последовательно взаимосвязаны.

**Задачи дисциплины** – формирование у студентов магистратуры представлений о ее целях, задачах, объектах и методах исследований природных и искусственных ювелирных монокристаллов и материалов.

Дисциплина *«Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов (геммология)»* преподается в 1, 2 и 3 семестрах. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-2 Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	ПК-2.3 Владеет навыками соотнесения результатов собственной научной работы с отечественным и зарубежным опытом по тематике исследования -	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)  Обобщенная трудовая функция С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и нанoeлектроники  ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и нанoeлектроники с заданными	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями



<p>определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>		<p>функциональными свойствами -</p> <p>ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и наноэлектроники с заданными свойствами</p>	<p>работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Г. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Г/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой</p>
---	---	--	---	--

				<p>электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
<p>Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	<p>ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники</p>	<p>ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и нанoeлектроники</p> <p>ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства</p>

				<p>труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Г. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Г/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства</p>
--	--	--	--	---

				<p>труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

**Знать:**

- современные методы исследования и диагностики ювелирных камней.
- общие принципы классификации природных, драгоценных монокристаллических камней и знать их группы
- диагностические признаки и критерии природных и искусственных ювелирных монокристаллов и материалов.

**Уметь:**

- пользоваться геммологическими приборами и определять свойства ювелирных камней.
- определять качественные характеристики природных и искусственных монокристаллов визуально и методами детальных исследований.

**Владеть:**

- навыками определения физических и химических свойств природных и искусственных ювелирных монокристаллов на макро- и микроуровне.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего		Семестр					
			1 семестр		2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>12</b>	<b>432</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>6</b>	<b>216</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>6</b>	<b>221</b>	<b>1.5</b>	<b>51</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>3.5</b>	<b>136</b>
в том числе в форме практической подготовки	0,5	17					0,5	17
Лекции	2	67	0,5	17	0,5	16	1	34
Практические занятия (ПЗ)	2,5	86	1	34	0,5	18	1	34
Лабораторные работы (ЛР)	2	68	0	0	0	0	2	68
в том числе в форме практической подготовки	0,5	17					0,5	17
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4</b>	<b>139</b>	<b>1,5</b>	<b>57</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>1,5</b>	<b>44</b>
Контактная самостоятельная работа		0,4		0,4		-		-
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		138,6		56,6		38		44
<b>Виды контроля:</b>								
<b>Зач. с оценкой</b>			+					
<b>Экзамен</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>1</b>	<b>36</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация		0,8			1	0,4		0,4
<b>Вид итогового контроля:</b>			<b>Зач. с оценкой</b>		<b>Экзамен</b>		<b>Экзамен</b>	

Вид учебной работы	Всего		Семестр					
			1 семестр		2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>12</b>	<b>324</b>	<b>3</b>	<b>81</b>	<b>3</b>	<b>81</b>	<b>6</b>	<b>162</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>6</b>	<b>165,8</b>	<b>1,5</b>	<b>38,3</b>	<b>1</b>	<b>25,5</b>	<b>3,5</b>	<b>102</b>
в том числе в форме практической подготовки	0,5	12,8					0,5	12,8
Лекции								

Практические занятия (ПЗ)								
Лабораторные работы (ЛР)								
в том числе в форме практической подготовки								
<b>Самостоятельная работа</b>	4	104,3	1,5	42,8	1	28,5	1,5	33
Контактная самостоятельная работа		0,3		0,3				
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		104		41,5		28,5		33
<b>Виды контроля:</b>								
<b>Зач. с оценкой</b>								
<b>Экзамен</b>	2	54	-	-	1	27	1	27
Контактная работа – промежуточная аттестация					1	0,3	1	0,3
Подготовка к экзамену.						26,7		26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>			<b>Зач. с оценкой</b>		<b>Экзамен</b>		<b>Экзамен</b>	

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Часов					
		Всего	Лек	ПЗ	ЛЗ	СР	Экз
1.	Раздел 1. Введение геммологии.	125	17	34	17	57	
2.	Раздел 2. Природные ювелирные монокристаллы	89	16	18	17	38	
3.	Раздел 3. Модифицированные природные монокристаллы.	73	17	17	17	22	
4.	Раздел 4. Искусственные аналоги природных монокристаллов и их имитации.	73	17	17	17	22	
	<b>Экзамен</b>						72
<b>ИТОГО в 9 семестр (часов)</b>		<b>17</b>	<b>67</b>	<b>86</b>	<b>68</b>	<b>139</b>	<b>72</b>

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

#### Раздел 1. Введение в геммологию.

- 1.1. Введение. Природные драгоценные монокристаллы как объект исследования геммологии. Цели и задачи, объекты и методы исследований (визуальные, инструментальные), приборы, аппаратура.
- 1.2. Принципы классификации природных драгоценных монокристаллов, современные классификации. Понятие «драгоценный камень» в различных аспектах. Правила СИБЮ (Международная конференция по ювелирным камням, изделиям из серебра, алмазам и жемчугу). Отношение России к СИБЮ.
- 1.3. Физико-химические свойства природных драгоценных монокристаллов (цвет, блеск, твердость, плотность, оптические свойства, абсорбция, особенности), визуальные и инструментальные методы диагностики. Приборы, аппаратура (микроскоп, иммерсионскоп, полярископ, рефрактометр, спектроскоп, дихроскоп, УФ-лампа). Центры окраски, спектрофотометрия и оценка цвета по системе GIA.

## **Раздел 2. Природные ювелирные монокристаллы.**

- 2.1. Природные ювелирные камни (геммологическая характеристика, методы идентификации, месторождения): алмаз, прозрачные (ограночные) ювелирные камни (гр. корунда, гр. берилла, хризоберилл, шпинель, гр. граната, гр. кварца и др.); непрозрачные (ювелирно-поделочные) камни: благородный опал, бирюза, нефрит, жадеит, хризопраз, лазурит и др.
- 2.2. Органогенные ювелирные материалы (жемчуг, перламутр, янтарь, коралл и др.); геммологическая характеристика, методы диагностики.

## **Раздел 3. Модифицированные природные монокристаллы.**

- 3.1. Облагораживания природных драгоценных монокристаллов. Методы модифицирования и диагностические признаки облагораживания, способы распознавания облагороженных камней.

## **Раздел 4. Искусственные аналоги природных монокристаллов и их имитации.**

- 4.1. Промышленный рост искусственных аналогов природных монокристаллов, требования к выпускаемой продукции. Историческая справка о развитии промышленного синтеза и роста драгоценных камней, основные методы роста. Области применения искусственных аналогов природных камней, их достоинства и преимущества перед природными камнями.
- 4.2. Наиболее широко распространенные искусственные ювелирные камни, их геммологическая характеристика, методы идентификации, ключевые диагностические признаки отличия искусственных ювелирных камней от природных. Фирмы-поставщики.
- 4.3. Имитации. Виды имитаций (из природных, искусственных материалов, составные камни); способы и методы распознавания имитаций.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	<b>Знать:</b>					
1	- теоретические основы современной геммологии и классификации ювелирных монокристаллов		+			
2	- методы диагностики ювелирных камней и материалов			+	+	+
3	- диагностические признаки и критерии природных и искусственных ювелирных монокристаллов и материалов				+	+
4	- количественные и качественные характеристики ювелирных кристаллов, влияющих на стоимостную оценку					
	<b>Уметь:</b>					
4	- пользоваться геммологическими приборами и определять свойства ювелирных камней.		+			
5	- определять качественные характеристики природных и искусственных монокристаллов визуально и методами детальных исследований		+	+	+	+
	<b>Владеть:</b>					
7	- навыками определения физических и химических свойств природных и искусственных ювелирных монокристаллов на макро- и микроуровне		+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <i>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</i>						
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>				
8	ПК-2 Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	ПК-2.3 Владеет навыками соотнесения результатов собственной научной работы с отечественным и зарубежным опытом по тематике исследования.	+	+	+	+
10	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники.	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.	+	+	+	+
11		ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и нанoeлектроники с заданными функциональными свойствами.	+	+	+	+
12		ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами.	+	+	+	+
13	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и нанoeлектроники.	+	+	+	+
14		ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники.	+	+	+	+



## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерный перечень практических занятий

Предусмотрены практические занятия обучающегося в магистратуре в объеме 86 акад. ч. (34 акад. ч в 1 сем., 18 акад. ч во 2 сем., 34 акад. ч в 1 сем.).

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических (семинарских) занятий	Часы
1	1	Геммологические мини лаборатории: особенности использования, методы юстировки и контроля измеряемых параметров. Использование отдельных приборов и всего комплекса. Инструментальные методы детальных исследования технических и ювелирных кристаллов.	17
2	1	Определение цветовых характеристик ювелирных кристаллов по системе Gemset GIA и спектрометрические данные.	17
3	4	Определение качественных характеристик технических и ювелирных монокристаллов. Сравнительный анализ.	17
4	3	Модифицирование свойств кристаллов. Изменение цветовых и качественных характеристик природных и искусственных ювелирных камней физико-химическими методами. Практические приметы и опыт их применения.	17
5	2	Идентификация, ключевые диагностические признаки отличия искусственных и природных ювелирных камней и материалов.	18

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины «Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов (геммология)» предусмотрена самостоятельная работа студента магистратуры в объеме 57 ч в 1 семестре, 38 ч во 2 семестре и 44 ч в 3 семестре плюс по 36ч самостоятельной подготовки к экзамену во 2 и 3 семестрах. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам курса;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов таких как Gem & Gemology и др.;
- подготовку докладов и презентаций;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в работе тематических форумов в сети интернет;
- подготовку к сдаче экзаменов.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине в 1 семестре складывается из оценок за выполнение теста (5 баллов), домашней работы (10 баллов), контрольной работы (максимальная оценка 15 баллов), лабораторного практикума (максимальная оценка 30 баллов) и итогового контроля в форме зачета с оценкой (максимальная оценка 40 баллов); в 7 семестре – из оценок за реферат (12 баллов), контрольной работы (максимальная оценка 15 баллов), лабораторного практикума (максимальная оценка 32 балла) и итогового контроля в форме зачета с оценкой (максимальная оценка 40 баллов).

### **8.1 Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

### **8.2 Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 4 контрольных работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы 30 в каждом семестре, по 15 баллов за каждую.

#### **Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1.**

**Максимальная оценка – 15 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 7.5 баллов за вопрос.**

##### **Вопрос 1.1.**

1. Предмет исследования современной геммологии, её задачи и методы. Инструментальные методы исследования монокристаллов (перечисление, с указанием качества точности) (микроскоп, иммерсионскоп, полярископ, рефрактометр, спектроскоп, дихроскоп, УФ-лампа)
2. Современная классификация ювелирных камней – геммологическая, промышленная и технологическая.
3. Правила СИБЮ. Особенности и применение правил производства, торговли и оборота ювелирных камней в России. Отношение России к СИБЮ. Применение терминов в геммологии.

##### **Вопрос 1.2.**

1. Физико-химические свойства природных драгоценных монокристаллов (цвет, блеск, твердость, плотность, оптические свойства, абсорбция, особенности), (микроскоп, иммерсионскоп, полярископ, рефрактометр, спектроскоп, дихроскоп, УФ-лампа)
2. Определение оценочных параметров ювелирных камней. Цвет. Определение цветовых характеристик ювелирных кристаллов по системе Gemset GIA и спектрометрические данные и их анализ. Определение цветовых координат в системе RGB.

3. Инструментальные методы исследования монокристаллов (перечисление, с указанием качества) (микроскоп, иммерсионскоп, полярископ, рефрактометр, спектроскоп, дихроскоп, УФ-лампа)

**Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2. Максимальная оценка – 15 баллов. Контрольная работа содержит 3 вопроса, по 5 баллов за вопрос.**

**Вопрос 2.1.**

1. Природные ювелирные камни и материалы. Отличительные особенности, распространенность и представление о генезисе. Месторождения, методы добычи и рынки природных ювелирных камней.
2. Алмазы и бриллианты. Разновидности, минералого-кристаллографическая характеристика, методы идентификации, месторождения. Сравнительный анализ природных и искусственных разновидностей. Признаки модифицирования разновидностей. Особенности торговли и рынков его разновидностей.
3. Ювелирные камни группы корунда: разновидности, минералого-кристаллографическая характеристика, методы идентификации, месторождения. Сравнительный анализ природных и искусственных разновидностей. Признаки модифицирования разновидностей. Особенности торговли и рынков его разновидностей.

**Вопрос 2.2.**

1. Ювелирные камни группы берилла: разновидности, минералого-кристаллографическая характеристика, методы идентификации, месторождения. Сравнительный анализ природных и искусственных разновидностей. Признаки модифицирования разновидностей. Особенности торговли и рынков его разновидностей.
2. Ювелирные камни группы граната: разновидности, минералого-кристаллографическая характеристика, методы идентификации, месторождения. Сравнительный анализ природных и искусственных разновидностей. Признаки модифицирования разновидностей. Особенности торговли и рынков его разновидностей.
3. Ювелирные камни группы кварца и опалы: разновидности, минералого-кристаллографическая характеристика, методы идентификации, месторождения. Сравнительный анализ природных и искусственных разновидностей. Признаки модифицирования разновидностей. Особенности торговли и рынков его разновидностей.

4. Шпинель, хризоберилл, оливин. Характеристика, методы идентификации, месторождения. Природные камни и их искусственные аналоги.
5. Топаз, турмалин, диопсид. Характеристика, методы идентификации, месторождения. Природные камни и экспериментальные данные по попыткам их лабораторного получения.

### **Вопрос 2.3.**

1. Циркон, сподумен, полевые шпаты. Характеристика, методы идентификации, месторождения. Природные камни и экспериментальные данные по попыткам их лабораторного получения.
2. Нетрадиционные ювелирные камни (данбурит, фенакит, апатит и др.). Характеристика, методы идентификации, месторождения. Природные камни и экспериментальные данные по попыткам их лабораторного получения.
3. Ювелирно-поделочные и поделочные камни. Разновидности, минералогическая петрографическая характеристика, методы идентификации, месторождения. Признаки модифицирования разностей. Особенности торговли и рынков их разновидностей. Искусственные аналоги.
4. Ювелирные камни органического происхождения. Разновидности, характеристика, методы идентификации. Процессы образования «камней» в живых организмах. Признаки модифицирования разностей. Особенности торговли и рынков их разновидностей. Искусственные, культивированные и имитации.

## **Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3. Максимальная оценка – 15 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 7.5 баллов за вопрос.**

### **Вопрос 3.1**

1. Цель и задачи облагораживания. Различия в «модифицировании» и «облагораживании». Область применения.
2. Методы воздействия на природные и искусственные ювелирные кристаллы. Физические, физико-химические и химические методы. Общие представления, оборудование и режимы воздействий.
3. Термообработка, термодиффузия, ионная имплантация. Примеры облагораживания, механизм изменения цвета. Особенности методов и распространенность их применения на практике.

### **Вопрос 3.2**

1. Облучение. Виды ионизирующего воздействия. Примеры облагораживания, механизм изменения цвета. Особенности методов и распространенность их применения на практике. Остаточная радиоактивность.
2. Импрегнирование и заполнение органическими композициями. Химическое крашение. Примеры облагораживания, механизм изменения цвета и качественных характеристик (прозрачности, порочности и пр.). Особенности методов и распространенность их применения на практике.
3. Результаты облагораживания ювелирных камней и материалов. Композиционные, гибридные и пр. материалы как результат модифицирования. Правила CIBJO и маркировка облагороженных камней.

#### **Раздел 4. Примеры вопросов к контрольной работе № 4.**

**Максимальная оценка – 15 баллов. Контрольная работа содержит 1 вопрос на 15 баллов.**

1. Промышленный рост искусственных аналогов природных ювелирных монокристаллов, требования к выпускаемой продукции. Области применения искусственных аналогов природных камней, их достоинства и преимущества перед природными камнями.
2. Искусственные ювелирные монокристаллы, их геммологическая характеристика, методы идентификации, ключевые диагностические признаки; отличия искусственных ювелирных камней от природных. Фирмы-поставщики.
3. Имитации. Виды имитаций (из природных, искусственных материалов, составные камни); способы и методы распознавания имитаций.

#### **8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – зачет с оценкой, 2 семестр – экзамен, 3 семестр – экзамен).**

**Максимальное количество баллов за зачет с оценкой – 40 баллов, за экзамен – 40 баллов. Экзаменационный билет содержит 3 вопроса. 1 вопрос 10 баллов, вопрос 2 и 3 – 15 баллов каждый.**

##### **8.3.1 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – зачет с оценкой).**

**Максимальное количество баллов за зачет с оценкой – 40 баллов**

1. Объекты, задачи и место геммологии среди других наук.
2. Классификация ювелирных материалов. Природные ювелирные материалы; их номенклатура, определения и примеры.
3. Классификация ювелирных материалов. Искусственные материалы; их номенклатура, определения и примеры.
4. Генетическая классификация ювелирных кристаллов и материалов.

5. Основные оптические феномены в ювелирных камнях.
6. Инструментальные методы исследования монокристаллов (перечисление, с указанием качества) (микроскоп, иммерсионскоп, полярископ, рефрактометр, спектроскоп, дихроскоп, УФ-лампа)
7. Полярископ. Физический принцип работы. Устройство и особенности обслуживания. Анализ полученных данных.
8. Полярископ, рефрактометр, , УФ-лампа)
9. Рефрактометр. Физический принцип работы. Устройство и особенности обслуживания. Анализ полученных данных.
10. Спектроскоп. Физический принцип работы. Устройство и особенности обслуживания. Анализ полученных данных.
11. Дихроскоп. Физический принцип работы. Устройство и особенности обслуживания. Анализ полученных данных.
12. Определение цветовых характеристик ювелирных кристаллов по системе Gemset GIA
13. Берилл: ювелирные разновидности, минералогические особенности.
14. Корунд: ювелирные разновидности, минералогические особенности.
15. Хризоберилл: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
16. Шпинель: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
17. Ювелирные камни группы гранатов (пиральспиты): минералогические особенности, основные места добычи.
18. Ювелирные камни группы гранатов (уграндиты): минералогические особенности, основные места добычи.
19. Топаз: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
20. Турмалин: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
21. Диопсид: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
22. Оливин: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
23. Циркон: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
24. Сподумен: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.
25. Кордиерит, клиногумит, данбурит, фенакит и пр. нетрадиционные ювелирные камни. Геммологические особенности, основные места добычи.
26. Поделочные камни: определение, генетическая классификация и декоративные характеристики.

### **8.3.2 Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины – 2 и 3 семестр, экзамен.**

**Максимальное количество баллов за вид контроля из УП 15 баллов. Экзаменационный билет содержит 3 вопроса. 1 вопрос – 10 баллов, вопрос 2 и 3 - 15 баллов каждый.**

1. Основные группы искусственных ювелирных монокристаллов и материалов; определения, примеры.
2. Искусственные и природные стекла: номенклатура и характеристики.

3. Основная документация по оценке обработанных ювелирных камней.
4. Описание проведения геммологической экспертизы.
5. Цвет и чистота бриллиантов по GIA и по ТУ. Оценка стоимости бриллиантов и алмазного сырья
6. Определение цветовых параметров ювелирных камней по системе GIA
7. Включения в природных и искусственных ювелирных камнях
8. Рентгеноспектральный микроанализ (микрозонд) в геммологии
9. Спектрометрия комбинационного рассеяния (Рамановская спектроскопия) в геммологии
10. Спектрометрия ЭПР (электронный парамагнитный резонанс) в геммологии

Полный перечень оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### 8.4. Структура и примеры билетов для экзамена на 2 и 3 семестр.

**Экзамен** по дисциплине «Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов (геммология)» проводится во 2 и 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам учебной программы дисциплины. Билет экзамена состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам. Ответы на вопросы **на экзамен** оцениваются из максимальной оценки 40 баллов следующим образом: максимальное количество баллов за первый вопрос – 10 баллов, второй – 15 баллов, третий вопрос – 15 баллов.

<p>«Утверждаю» Зав. кафедры химии и технологии кристаллов</p> <p>_____ Аветисов И.Х.</p> <p>«__» _____ 20__ г.</p>	Министерство науки и высшего образования РФ
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	Кафедра химии и технологии кристаллов
	Программа подготовки студентов магистратуры – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»
	<b>«Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов (геммология)»</b>
<p align="center"><b>Экзаменационный билет № 1</b></p> <p>1. Объекты, задачи и место геммологии среди других наук.</p> <p>2. Топаз: ювелирные разновидности, минералогические особенности, основные места добычи.</p> <p>3. Рефрактометр. Физический принцип работы. Устройство и особенности обслуживания. Анализ полученных данных.</p>	

## 9 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1 Рекомендуемая литература

#### А) Основная литература:

1. Ахметшин, Э. А. Технология облагораживания ювелирных камней и материалов. Химическое крашение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Э. А. Ахметшин. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. - 59 с. : ил. ; 3,7 усл.печ.л. - Библиогр.: с. 59. - 100 экз. - ISBN 978-5-7237-1449-6 : 19.12 р.
2. Войнич Е.А., Наумов В.П. - Ювелирные камни, Способы и технология их обработки: учебное пособие <https://e.lanbook.com/book/70331>
3. А. А. Майер. Процессы роста кристаллов. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1999

#### Б) Дополнительная литература

1. А-651 Андерсон, Б. У. Определение драгоценных камней [Текст] / Б. У. Андерсон ; пер. Л. В. Булгак ; ред. В. П. Петров. - М. : Мир, 1983. - 456 с., 4 л. ил. : ил. - Библиогр.: с. 446-447. - Предм. указ.: с. 448-456. - Б. ц. Перевод изд.: Gem testing/ B.W. Anderson (London etc.)
2. Балицкий, В. С. Синтетические аналоги и имитации природных драгоценных камней [Текст] / В. С. Балицкий, Е. Е. Лисицина. - М. : Недра, 1981. - 158 с. : ил. - Библиогр.: с. 148-157 (410 назв.). - Б. ц.
3. Основы геммологии [Текст] : учеб. пособие / М.И. Фомин, О.В. Соловьева. – Ухта: УГТУ, 2009. – 72 с.: ил. ISBN 978-5-88179-558-0 <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-osnovy-gemmologii.pdf>

### 9.2 Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические пособия рекомендации по выполнению практических работ.

#### Научно-технические журналы:

- «Кристаллография» ISBN-13: 978-3-527-30504-9
- American Mineralogist ISBN-13: 978-9999708760
- Gems & Gemology (Gemological Institute of America) ISBN 978-3-540-72816-0
- Петрология ISBN: 9780716737438
- Минералогия ISBN 9780190618353
- Mineral Resources Engineering ISBN 978-3-319-58760-8
- Journal of Crystal Growth
- Crystal Research and Technology ISBN 3–540–15556–2

#### Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет



- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Лань»
- <http://lib.muctr.ru/> - Электронно-библиотечная система ИБЦ РХТУ им. Д.И.Менделеева
- <http://onlinelibrary.wiley.com/> - Издательство Wiley
- <http://www.centerprioritet.ru> – СМЦ «Приоритет» - техническая документация исследований (ИКСИ) – заказ литературы, русскоязычные издания
- <https://www.reaxys.com/> - База данных Reaxys и Reaxys Medicinal Chemistry Компании Elsevier
- <http://www.scopus.com> – Scopus
- [http://apps.webofknowledge.com/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=R1Ij2TUYmdd7bUatOIJ&preferencesSaved](http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=R1Ij2TUYmdd7bUatOIJ&preferencesSaved) - Ресурсы международной компании Clarivate Analytics
- <http://pubs.rsc.org/> - Royal Society of Chemistry (Королевское химическое общество)
- <https://scifinder.cas.org> - База данных SciFinder компании Chemical Abstracts Service
- <https://www.sciencedirect.com> - Издательство Elsevier на платформе ScienceDirect
- <http://www.scirp.org/journal/Index.aspx> - Scientific research. Open Access
- <http://www.intechopen.com/> - In Tech. Open Science
- <http://bookfi.org/g/> - BookFinder. Самая большая электронная библиотека рунета. Поиск книг и журналов
- <http://www.rsl.ru> - Российская Государственная Библиотека
- <http://www.gpntb.ru> - Государственная публичная научно-техническая библиотека России
- <http://lib.msu.su> - Научная библиотека Московского государственного университета
- <http://window.edu.ru> - Полнотекстовая библиотека учебных и учебно-методических материалов
- <http://abc-chemistry.org/ru/> - ABC-Chemistry : Бесплатная научная химическая информация
- <http://www.fips.ru/cdfi/fips2009.dtl> - Сайт ФИПС. Информация о патентах
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека

### **9.3 Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных практических занятий – 18;
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 56);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 36).
- комплекты ограненных и кабошонированных ювелирных камней – презентационный материал;
- расходные материалы для проведения практических занятий – сырьё природных и искусственных ювелирных камней и материалов; тигли и реактивы;
- библиотека тематической литературы более 450 книг;
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины.

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который

обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине **«Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов (геммология)»** проводятся в форме лекций и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Лекционная учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; учебная аудитория для проведения практических занятий, оснащенная геммологическим оборудованием и инструментом - микроскоп, иммерсионскоп, полярископ, рефрактометр, спектроскоп, дихроскоп, УФ-лампа.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Комплекты ограненных и кабошонированных ювелирных камней; комплекты расходных материалов для проведения практических занятий – сырьё природных и искусственных ювелирных камней и материалов.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основным геммологическим оборудованием.

### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> Введение в геммологию.	<b>Знает:</b> -современные методы исследования и диагностики ювелирных камней. -общие принципы классификации природных, драгоценных монокристаллических камней и знать их группы -диагностические признаки и критерии природных и искусственных ювелирных монокристаллов и материалов. <b>Умеет:</b> — пользоваться геммологическими приборами и определять свойства ювелирных камней. — определять качественные характеристики природных и искусственных монокристаллов визуально и методами детальных исследований. <b>Владеет:</b> - навыками определения физических и химических свойств природных и искусственных ювелирных монокристаллов на макро- и микроуровне.	Оценка за контрольную работу №1 (2 семестр) Оценка за <b>экзамен</b> (2 семестр)
<b>Раздел 2.</b> Природные ювелирные монокристаллы	<b>Знает:</b> -современные методы исследования и диагностики ювелирных камней. -общие принципы классификации природных, драгоценных монокристаллических камней и знать их группы -диагностические признаки и критерии природных и искусственных ювелирных монокристаллов и материалов.	Оценка за контрольную работу №3 (2 семестр) Оценка за <b>экзамен</b> (2 семестр)

	<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пользоваться геммологическими приборами и определять свойства ювелирных камней.</li> <li>– определять качественные характеристики природных и искусственных монокристаллов визуально и методами детальных исследований.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками определения физических и химических свойств природных и искусственных ювелирных монокристаллов на макро- и микроуровне.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 3.</b> Модифицированные природные монокристаллы</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-современные методы исследования и диагностики ювелирных камней.</li> <li>-общие принципы классификации природных, драгоценных монокристаллических камней и знать их группы</li> <li>-диагностические признаки и критерии природных и искусственных ювелирных монокристаллов и материалов.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пользоваться геммологическими приборами и определять свойства ювелирных камней.</li> <li>– определять качественные характеристики природных и искусственных монокристаллов визуально и методами детальных исследований.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками определения физических и химических свойств природных и искусственных ювелирных монокристаллов на макро- и микроуровне.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (3 семестр) Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>
<p><b>Раздел 4.</b> Искусственные аналоги природных монокристаллов и их имитации</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-современные методы исследования и диагностики ювелирных камней.</li> <li>-общие принципы классификации природных, драгоценных монокристаллических камней и знать их группы</li> <li>-диагностические признаки и критерии природных и искусственных ювелирных</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (3 семестр) Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>

	<p>монокристаллов и материалов.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пользоваться геммологическими приборами и определять свойства ювелирных камней.</li> <li>– определять качественные характеристики природных и искусственных монокристаллов визуально и методами детальных исследований.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками определения физических и химических свойств природных и искусственных ювелирных монокристаллов на макро- и микроуровне.</li> </ul>	
--	--	--

### 13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
**Рабочий лист для идентификации ювелирных камней**

Фамилия, имя		Дата		Результат	
Образец	Серия №				
Масса, ct					
Размер, мм					
Тип и форма огранки					
Цвет				Дополнительные замечания	
Прозрачность					
Полярископ	Оптически изотропный <input type="radio"/>	Оптически анизотропный <input type="radio"/>	Двупреломляющий агрегат <input type="radio"/>	Аномальное двупреломление <input type="radio"/>	
Коноскоп	Нет оптической фигуры <input type="radio"/>	Оптически одноосный <input type="radio"/>	Оптически двуосный <input type="radio"/>	Оптическая активность <input type="radio"/>	
Рефрактометр	Площадка		Боковая грань		Основные показатели преломления
					$N_o$
					$N_e$
					$N_p$
					$N_m$
					$N_g$
					$N > 1.81$
Максимальное двупреломление					
Осность Оптический знак	Оптически одноосный <input type="radio"/>	Оптически двуосный <input type="radio"/>	Оптически отрицательный <input type="radio"/>	Оптически положительный <input type="radio"/>	
Микроскоп					
Дихроскоп	Плеохроизм отсутствует <input type="radio"/>	Сильный <input type="radio"/>	Цвета плеохроизма		
	Умеренный <input type="radio"/>	Слабый <input type="radio"/>			
Спектроскоп			Плотность, г/см <sup>3</sup>		
			Метод		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><input type="radio"/></span> <span><input type="radio"/></span> </div>					
Результат исследований	Правильно <input type="radio"/>		Результат	Правильно <input type="radio"/>	
	Неправильно			Неправильно	

**Дополнения и изменения к рабочей программе  
«Диагностика и классификация технических и ювелирных монокристаллов  
(геммология)»  
основной образовательной программы**

18.04.01 «Химическая технология»  
магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.
2.		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ГЕТЕРОФАЗНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**



Программа составлена:

Д.х.н., профессор, заведующий кафедрой химии и технологии кристаллов Аветисов И.Х.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01. Химическая технология**, магистерская программа: **Технология функциональных материалов электроники и фотоники**, с рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой *химии и технологии кристаллов* РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 2 и 3 семестров.

Дисциплина *«Гетерофазные пленочные структуры»* относится к части дисциплин учебного плана, формируемых участниками образовательных отношений, дисциплинам по выбору. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области ...

**Цель дисциплины** – состоит в обучении студентов магистратуры знаниям, умениям и навыкам использования информации о методах и оборудовании для производства гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники.

**Задачи дисциплины** – основные задачи дисциплины заключаются в

- формировании у студентов магистратуры системных углубленных знаний в области процессов и технологий материалов для изготовления гетерофазных структур
- на основе этих знаний выработке системного подхода к постановке, выполнению и анализу результатов научных исследований в указанной области материаловедения.

Дисциплина *«Гетерофазные пленочные структуры»* преподается в 1-ом, 2-ом и 3-ем семестрах. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-2 Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	ПК-2.3 Владеет навыками соотнесения результатов собственной научной работы с отечественным и зарубежным опытом по тематике исследования	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)  Обобщенная трудовая функция  С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).

<p>Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	<p>ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники</p>	<p>ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами</p> <p>ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и наноэлектроники с заданными свойствами</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологий</p>
---	---	--	---	--

				<p>производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
Выполнение фундаментальных и прикладных работ	Химическое, химико-технологическое	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ	ПК-5.1 Знает современные требования к	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на

<p>поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.</p>	<p>производство</p> <p>Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	<p>научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники</p>	<p>рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Ф. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Ф/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной</p>
---	--	--	--	--

				<p>защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	--

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:  
знать:

- Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.
- Основные неорганические и органические материалы и индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.
- Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.
- Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.
- Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.
- Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.
- Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.
- Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.
- Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.
- Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники и фотоники.
- Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники.

уметь:

- Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.
- Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.
- Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.
- Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.
- Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.
- Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.
- Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).

владеть:



- Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.
- Информацией по методам контроля параметров пленочных структур
- Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники,
- Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов фотоники и электроники.
- Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.
- Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.

### 3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего		Семестр					
			1 семестр		2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.	ЗЕ	Акад. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>12</b>	<b>432</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>6</b>	<b>216</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>6</b>	<b>221</b>	<b>1.5</b>	<b>51</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>3.5</b>	<b>136</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	0,5	17					0.5	17
Лекции	2	67	0.5	17	0.5	16	1	34
Практические занятия (ПЗ)	2.5	86	1	34	0.5	18	1	34
Лабораторные работы (ЛР)	2	68	0	0	0	0	2	68
в том числе в форме практической подготовки	0,5	17					0,5	17
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4</b>	<b>139</b>	<b>1,5</b>	<b>57</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>1.5</b>	<b>44</b>
Контактная самостоятельная работа		0,4		0,4		-		-
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		138,6		56,6		38		44
<b>Виды контроля:</b>								
<b>Зач. с оценкой</b>			+					
<b>Экзамен</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>1</b>	<b>36</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация		0,8			1	0,4		0.4
<b>Вид итогового контроля:</b>			<b>Зач. с оценкой</b>		<b>Экзамен</b>		<b>Экзамен</b>	

Вид учебной работы	Всего		Семестр					
			1 семестр		2 семестр		3 семестр	
	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.	ЗЕ	Астр. ч.

Общая трудоемкость дисциплины	12	324	3	81	3	81	6	162
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	6	165,8	1,5	38,3	1	25,5	3,5	102
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	0,5	12,8					0,5	12,8
Лекции								
Практические занятия (ПЗ)								
Лабораторные работы (ЛР)								
в том числе в форме практической подготовки								
<b>Самостоятельная работа</b>	4	104,3	1,5	42,8	1	28,5	1,5	33
Контактная самостоятельная работа		0,3		0,3				
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		104		41,5		28,5	33	
<b>Виды контроля:</b>								
<b>Зач. с оценкой</b>								
<b>Экзамен</b>	2	54	-	-	1	27	1	27
Контактная работа – промежуточная аттестация					1	0,3	1	0,3
Подготовка к экзамену.						26,7		26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>			<b>Зач. с оценкой</b>		<b>Экзамен</b>		<b>Экзамен</b>	

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	Лекции	Прак. зан.	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
1	Раздел 1. Физико-химические основы технологии гетерофазных структур.	64	12	20			32
2	Раздел 2. Технологии гетерофазных структур с электрической системой обработкой информации.	44	5	14			25
3	Раздел 3. Технологии гетерофазных структур с оптической системой обработкой информации.	46	10	12			24
4	Раздел 4. Технологии гетерофазных структур с магнитной системой обработкой информации.	27	7	6			14
5	Раздел 5. Информационные системы и системы численного моделирования для технологий гетерофазных структур.	136	18	18	28	7	24
6	Раздел 6. Современные методы контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур для фотоники и электроники.		16	16	40	10	20
	<b>ИТОГО</b>	378	67	87	68	17	139
	<b>Экзамен</b>	72					
	<b>ИТОГО</b>	432					

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Физико-химические основы технологии гетерофазных структур.**

Классификация методов получения гетерофазных пленочных структур на основе термодинамического анализа процессов. Характеристики методов получения гетерофазных пленочных структур при нормальных и пониженных статических давлениях. Термодинамические основы метода послойного атомного осаждения. Термодинамические особенности молекулярно-лучевого осаждения. Термодинамические особенности методов формирования структур на основе фаз высокого давления. Растворные и расплавные методы формирования гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.

Классификация гетерофазных структур. Понятие гетерофазной структуры. Классификация гетерофазных структур по различным признакам - размерность, слоистость, количество используемых фаз, агрегатное и структурное состояние отдельных слоев гетерофазных структур. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники по признакам термодинамической фазы, агрегатного состояния, химического состава. Металлы, эвтектические сплавы, бинарные и многокомпонентные химические соединения, твердые растворы и их термодинамические характеристики. Коассификация способов формирования гетерофазных структур, исходя из термодинамических характеристик, включая многослойные пленочные структуры. Прогнозирование физико-химических свойств химических соединений с использованием метода термодинамических инкрементов.

Общий подход к анализу физико-химических данных о системах, используемых при разработке технологии гетерофазных структур.

Физико-химические свойства кремния и германия. Технологии монокристаллического и аморфного кремния и германия для различных типов устройств.

Фазовые равновесия в системах АЗ-В5. Характеристика физических, электрофизических, и оптоэлектрических свойств химических соединений типа АЗВ5. Технология монокристаллов, пленочных структур соединений АЗВ5 и твердых растворов на их основе.

Фазовые равновесия в системах А2-В6. Характеристика физических, электрофизических, и оптоэлектрических свойств химических соединений типа А2В6.

Материалы для высокотемпературной сверхпроводимости. Особенности фазового состава и технологии синтеза.

Характеристика физико-химических, физических и электрофизических свойств некоторых материалов, широко используемых при изготовлении пассивных элементов в технологиях гетероструктур: металлы, оксиды, нитриды.

Органические полупроводниковые материалы. Классификация по основным группам органических химических соединений. Жидкие кристаллы. Классификация, основные характеристики, методы получения.

Технология неорганических люминофоров. Классификация люминофоров по различным признакам. Основные классы химических соединений, используемых для синтеза неорганических люминофоров. Взаимосвязь между условиями синтеза и характеристиками люминофоров. Способы формирования тонкопленочных люминесцентных структур при различных способах их возбуждения. Технологии люминесцентных квантовых точек.

### **Раздел 2. Технологии гетерофазных структур с электрической системой обработкой информации.**

Полупроводниковые приборы на основе неорганических и органических материалов. Технология интегральных схем. Классификации интегральных схем (ИС) по различным признакам. Технология полупроводниковых ИС на основе Si. Технология

изготовления пластин для ИС из монокристаллической булы. Физико-химические основы и техника легирования кремниевых микросхем. Фазовые равновесия и кинетика гетерофазных процессов в системе Si-O. Технология диэлектрических покрытий на основе оксидов кремния. Фотолитография. Травление. Особенности технологии ИС на основе GaAs. Основные типы структур активных элементов, используемых при создании ИС: диффузионно-планарная структура, эпитаксиально-планарная структура, Эпитаксиально-планарная структура со скрытым слоем, структура с диэлектрической изоляцией, изопланарная структура, полипланарная структура, МДП структура, Эпитаксиально-планарный транзистор с диодом Шоттки, структура с инжекционно-интегральной логикой. Технология гибридных ИС. Технология толсто пленочных микросхем. Технология транзисторов на органических полупроводниках.

Технология керамических мишеней для магнетронного и электронно-лучевого распыления. Использование диаграмм Эллингхема в технологии тройных соединений. Технология «мокрого» легирования порошковых препаратов. Технология высокотемпературного прессования при контролируемом химическом потенциале одного из компонентов. Технология активационного отжига по методу Ван-Доорна.

### **Раздел 3. Технологии гетерофазных структур с оптической системой обработкой информации.**

Технология приборов воспроизведения изображения. Понятие цвета, диаграмма цветности, цветовые измерения, Цветовая система МКО. Основные системы представления цвета, аналоговое и цифровое представление цвета. Технология активного жидкокристаллического дисплея с транзисторной матрицей на основе Si. Топология активного жидкокристаллического дисплея. Фазовые равновесия в системе Si-H. Особенности получения тонких слоев аморфного нефоточувствительного кремния. Формирование транзисторной матрицы. Моделирование и особенности технологии тонкопленочных неорганических светофильтров. Особенности фотолитография прозрачных проводящих покрытий  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ . Технология электронно-лучевых трубок. Технология вакуумного флуоресцентного дисплея. Технология плазменной панели. Технология электросмачивающего дисплея.

Технология видеоконв для передачи цветного телевизионного изображения. Технология матричных приборов с зарядовой связью (CCD матрицы): топология, принцип действия, основные характеристики. Технология фоточувствительных структур на основе матрицы КМОП транзисторов: топология, принцип действия, сравнительные характеристики. Пространственно-временные модуляторы света. Назначение и принцип действия основных типов ПВМС. Технология материалов для изготовления активной структуры ПВМС. Технология пространственно-временного преобразователя света (для видимого диапазона) на основе поликристаллического сульфида кадмия. Технология электростатического проекционного дисплея на основе деформируемых микрозеркальных устройств.

Органическая электролюминесценция. Особенности механизмов люминесценции ОСИД. Теоретическая модель органических светоизлучающих диодов. Методика подбора материалов для создания гетерофазной ОСИД. Технология органического электролюминесцирующего дисплея. Технология полимерного электролюминесцирующего дисплея.

### **Раздел 4. Технологии гетерофазных структур с магнитной системой обработкой информации.**

Классификация основных магнитных и магнитооптических материалов. Магнитная микроэлектроника и магнитооптика. Основные характеристики магнитооптических материалов. Технологии вертикальной магнитной записи.

## **Раздел 5. Информационные системы и системы численного моделирования для технологий гетерофазных структур.**

Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения.

Современные информационные системы проектирования гетерофазных структур (SIM OLED, CRYST MAX...)

Современные системы численного моделирования диаграмм фазовых равновесий и их использование для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.

Современные системы численного моделирования тепло-массопереноса в технологиях гетерофазных структур различного функционального назначения.

## **Раздел 6. Современные методы контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур для фотоники и электроники.**

Экспериментальные методы исследования материалов электроники и фотоники и гетерофазных структур на их основе с помощью электронной микроскопии. Возможности современных сканирующих электронных микроскопов с различными системами формирования энергетических пучков. Особенности математической обработки сигналов электронных и ионных систем анализа поверхности материалов. Методы анализа фазового, структурного и элементного состава в современных системах сканирующей электронной микроскопии. Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения.

Сравнительный анализ возможностей современных систем рентгеновской дифракции. Особенности программного обеспечения для обработки результатов дифрактограмм кристаллических, аморфных и наноразмерных объектов.

Экспериментальные методы исследования материалов микропримесного состава материалов для фотоники и электроники включают методы масс-спектрометрии с различными вариантами пробоподготовки. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Масс-спектрометрия с плазмой тлеющего разряда. Вторично-ионная масс-спектрометрия. Особенности пробоподготовки препаратов для проведения анализов. Обработка интерференций в масс-спектрометрических исследованиях. Работа со стандартными образцами.

Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов для фотоники и электроники. Математическая обработка спектральных и спектрально-кинетических данных. Причины уширения спектров люминесценции – однородное и неоднородное уширение. Штарковское расщепление линий. Спектры люминесценции многоцентровых материалов. Разложение спектров на элементарные компоненты. Отделение линий штарковских компонент одного центра от линий, образованных разными центрами свечения.

Кинетика затухания люминесценции, разрешенные и неразрешенные переходы. Влияние на кинетику кооперативных процессов и ион-ионного взаимодействия. Влияние на кинетику температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции. Расчет квантового выхода. Построение кинетических кривых и расчет времени жизни сложных, многоцентровых люминофоров.

Теоретические основы оптических методов измерения толщин тонких пленок в динамическом режиме. Лазерная интерферометрия Лазерная эллипсометрия. Фотометрия. Метод светового сечения. Пьезотензиметрический метод определения массы растущей

пленки. Методы определения толщин проводящих (металлических) пленок. интерферометрия, рефлектометрия, эллипсометрия и спектрофотометрия.

Особенности рентгенофлуоресцентного метода анализа состава для определения составов однослойных и двухслойных многокомпонентных пленок на примере системы Fe-Ni-Mo/Cr.

Особенности применения методов емкостной спектроскопии для проведения онлайн измерений функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники. Лазерно-индуцированные методы измерения люминесцентных и оптических характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.

## 5 СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6
	<b>Знать:</b>						
1	– Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.	+	+	+	+		
2	– Основные неорганические и органические материалы и индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.	+	+	+	+		+
3	– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.	+	+	+	+	+	+
4	– Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.		+	+	+	+	+
5	– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.	+	+	+	+		
6	– Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.	+	+	+	+		
7	– Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.	+	+	+	+	+	+
8	– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.	+	+	+	+		
9	– Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.		+	+	+		
10	– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники и фотоники.					+	+
11	– Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники	+	+	+	+		+



	<b>Уметь:</b>						
12	– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.	+	+	+	+	+	
13	– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.		+	+	+	+	
14	– Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.	+	+	+	+	+	+
15	– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.	+	+	+	+		+
16	– Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.	+	+	+	+	+	+
17	– Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.	+	+	+	+	+	
18	– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).	+	+	+	+	+	
	<b>Владеть:</b>						
19	– Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.	+	+	+	+		
20	– Информацией по методам контроля параметров пленочных структур	+	+	+	+		+
21	– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники,	+	+	+	+	+	

22	– Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов фотоники и электроники.	+	+	+	+	+	
23	– Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.	+	+	+	+		+
24	– Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.	+	+	+	+		+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b><u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u></b>							
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>					
25	ПК-2 Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	ПК-2.3 Владеет навыками соотнесения результатов собственной научной работы с отечественным и зарубежным опытом по тематике исследования	+	+	+	+	+
26	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники	+	+	+	+	
27		ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами	+	+	+	+	+
28		ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и наноэлектроники с заданными свойствами	+	+	+	+	+

29	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	+	+	+	+	+	+
30		ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники -	+	+	+	+	+	+

## 6 ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1 Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисципли ны	Темы практических занятий	Часы
1	Раздел 1.	Расчет электрофизических и оптических свойств многослойных структур на основе металлов, оксидов и нитридов	6
2	Раздел 1.	Расчет условий формирования многослойных структур при воздействии высоких давлений	6
3	Раздел 1.	Расчет характеристик пленочных структур на основе данных о собственных и примесных точечных дефектов в материалах структур	6
4	Раздел 1.	Расчет скорости формирования эпитаксиальной пленки на основе твердых растворов Al <sub>0.5</sub> B <sub>0.5</sub> при выращивании из расплава.	2
5	Раздел 2.	Расчет физико-химических свойств химических соединений методом термодинамических инкрементов.	4
6	Раздел 2.	Расчет условий синтеза пленочных фоточувствительных структур на основе сульфида кадмия	4
7	Раздел 2.	Расчет диффузионной толщины гетероструктур Al <sub>0.5</sub> B <sub>0.5</sub>	6
8	Раздел 3.	Расчет дисперсии фотолитографического процесса формирования активных элементов интегральных схем	4
9	Раздел 3.	Обработка результатов лазерной интерферометрии, лазерной эллипсометрии, фотометрических измерений	4
10	Раздел 3.	Расчет толщины слоя органического люминофора, осаждаемого методом вакуумного термического испарения	4
11	Раздел 4.	Освоение режимов работы и приобретение навыков пробоподготовки образцов для съемки спектров фотолюминесценции	3
12	Раздел 4.	Освоение компьютерных программ обработки спектров фотолюминесценции и кинетики затухания люминесценции.	3
13	Раздел 5.	Освоение компьютерных программ расчета и моделирования физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения приобретение навыков пользования ими.	6
14	Раздел 5.	Освоение систем численного моделирования диаграмм фазовых равновесий для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.	6
15	Раздел 5.	Освоение компьютерных программ расчета и моделирования многослойных структур с данными электролюминесцентными свойствами.	6
16	Раздел 6.	Обработка результатов РСА и РФА.	8

№ п/п	№ раздела дисципли ны	Темы практических занятий	Часы
17	Раздел 6.	Обработка результатов энергодисперсионного анализа при исследовании образцов в сканирующем электронном микроскопе	4
18	Раздел 6.	Интерпретация результатов рентгенофлуоресцентного анализа при определении однослойных и двухслойных многокомпонентных пленок	4
			86

Учебным планом подготовки студентов магистратуры по направлению 18.04.01 предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Физическая химия материалов для гетерофазных пленочных структур различного функционального назначения» в объеме 34 часов (1 зач. ед.). Практические занятия проводятся под руководством преподавателя и направлены на углубление теоретических знаний, полученных студентом магистратуры на лекционных занятиях, формирование понимания связей между теоретическими положениями химической технологии и методологией решения практических задач по тематике лекций, приобретение навыков применения теоретических знаний в практической работе.

## 6.2 Лабораторные занятия

Примеры лабораторных работ по дисциплине «Гетерофазные пленочные структуры»  
(3 семестр).

№ п/п	Раздел	Наименование лабораторных работ	Часы
1.	Раздел 1.	Синтез нестехиометрического сульфида цинка	10
2.	Раздел 2.	Анализ отклонения от стехиометрии в нестехиометрическом сульфиде цинка	8
3.	Раздел 3.	Освоение режимов работы и приобретение навыков пробоподготовки, выбора режима съемки и обработки результатов сканирующей электронной микроскопии	10
4.	Раздел 3.	Синтез органического порошкового люминофора, его очистка методом вакуумной сублимации,	6
5.	Раздел 3.	Формирование многослойной гетерофазной тонкопленочной светоизлучающей диодной структуры	6
6.	Раздел 6.	Измерения характеристик многослойной гетерофазной тонкопленочной светоизлучающей диодной структуры	4
7.	Раздел 5.	Построение сеточной модели для расчета процесса тепло-массопереноса при выращивании кристаллов из расплава	6
8.	Раздел 5.	Численное моделирование процесса тепло-массопереноса при выращивании кристаллов из расплава	6
9.	Раздел 6.	Подготовка пробы органического порошкового люминофора для проведения исследований микропримесного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой	4
10.	Раздел 6.	Проведение измерений и обработка результатов масс-спектральных исследований примесного состава	8

## **7 САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА**

Учебной программой дисциплины «Гетерофазные пленочные структуры» предусмотрена самостоятельная работа студента в объеме 128 акад. час., в том числе самостоятельное изучение разделов дисциплины и выполнение домашних заданий в объеме 63 акад. час., подготовку реферата в объеме 9 акад. час., а также выполнения курсового проекта.

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает следующие виды:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку реферата по тематике курса на основе проработки рекомендованной литературы и работы с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче зачета и зачета с оценкой.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8 ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине в 2 семестре складывается из оценок за практические занятия (максимальная оценка 80 баллов), реферата (максимальная оценка 20 баллов);

Совокупная оценка по дисциплине в 3 семестре складывается из оценок за практические занятия (максимальная оценка 45 баллов), реферата (максимальная оценка 15 баллов) контроля в форме зачета с оценкой (максимальная оценка 100 баллов).

### **8.1 Примерная тематика расчетной работы**

Расчетная работа по дисциплине выполняется в 8 семестре в часы, выделенные учебным планом на самостоятельную работу. Максимальная оценка расчетной работы – 20 баллов.

Тематика расчетной работы: «Расчет процесса вакуумного термического напыления тонкопленочной структуры».

### **8.2 Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

Реферат по дисциплине выполняется во 2 семестре в часы, выделенные учебным планом на самостоятельную работу. Максимальная оценка реферата – 20 баллов.

Примерные тематики рефератов:

- Современные тенденции в области пучковых технологий.
- Исследования процессов вакуумного испарения многокомпонентных систем.
- Современные конструкции термических испарителей при производстве ОСИД дисплеев.
- Современные тенденции в создании тонкопленочных прозрачных проводящих слоев для устройств отображения информации.
- История создания и современные тенденции развития технологий тонкопленочных структур при производстве интегральных схем с топологическими нормами менее 25 нм.
- Нанолитография и ее применение при производстве современных микросхем.
- Способы формирования тонкопленочных светофильтров в полноцветных устройствах отображения информации.
- Современные достижения в области высоковакуумных производственных систем.
- Современная технология моно- поликристаллического и аморфного кремния и германия для различных типов устройств.
- Исследования полиморфизма в нестехиометрических фазах соединений  $A^2B^6$ .
- Применение полупроводникового арсенида галлия в технологиях СВЧ устройств и оптоэлектроники.
- Современные тенденции в создании тонкопленочных прозрачных проводящих слоев для устройств отображения информации.
- История создания и современные тенденции развития технологий жидкокристаллических устройств.
- Современное развитие технологий неорганических люминофоров.
- Современные тенденции развития технологий интегральных схем.
- Модифицирование технологии фотолитографии: от миллиметров до нанометров.
- Способы представления цвета в устройствах отображения информации.
- Пассивные и активные тонкопленочные структуры тонкопленочных светодиодных излучающих устройств.
- Технология QLED против технологии OLED.

### **8.3 Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 1 тест (по 1 разделу) и 2 контрольных работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы составляет по 15 баллов за каждую.

#### **Семестр 1**

1. Классификация гетерофазных структур.
2. Классификация гетерофазных структур по размерности.
3. Классификация гетерофазных структур по количеству используемых фаз.
4. Классификация гетерофазных структур по агрегатному состоянию отдельные слоев гетерофазных структур.
5. Классификация гетерофазных структур по структурному состоянию отдельные слоев гетерофазных структур.
6. Общий подход к анализу физико-химический данных о системах, используемых при разработке технологии гетерофазных структур.

7. Физико-химические свойства кремния как полупроводникового материала.
8. Физико-химические свойства германия как полупроводникового материала.
9. Технология монокристаллического кремния для технологии интегральных схем.
10. Технология поликристаллического кремния для получения монокристаллического кремния полупроводникового качества.
11. Технология аморфного кремния для прозрачной транзисторной матрицы приборов отображения информации.
12. Технология монокристаллического германия для охлаждаемых матричных детекторов.
13. Технология монокристаллического арсенида галлия для полупроводниковых приборов фотоники и СВЧ электроники.
14. Технология монокристаллического фосфида индия для полупроводниковых приборов фотоники и СВЧ электроники.
15. Технологии нитридов алюминия и галлия для светодиодных устройств.
16. Номенклатура и характеристики промышленных монокристаллов  $A^3B^5$ .
17. Физико-химические характеристики халькогенидов цинка и кадмия.
18. Технология фоточувствительных пленочных структур на основе сульфида и теллурида кадмия.
19. Жидкие кристаллы. Классификация, основные характеристики, методы получения.
20. Классификация люминофоров по различным признакам.
21. Основные классы химических соединений, используемых для синтеза неорганических люминофоров.
22. Технологии синтеза неорганических люминофоров.
23. Взаимосвязь между условиями синтеза и характеристиками люминофоров.
24. Способы формирования тонкопленочных люминесцентных структур при различных способах их возбуждения.
25. Классификации интегральных схем (ИС) по различным признакам.
26. Технология изготовления пластин для ИС из монокристаллической булы.
27. Фазовые равновесия и кинетика гетерофазных процессов в системе Si-O.
28. Технология диэлектрических покрытий на основе оксидов кремния.
29. Основные типы структур активных элементов, используемых при создании ИС: диффузионно-планарная структура, эпитаксиально-планарная структура.
30. Технология гибридных интегральных схем.
31. Понятие цвета, диаграмма цветности, цветовые измерения.
32. Цветовая система МКО. Основные системы представления цвета, аналоговое и цифровое представление цвета.
33. Фазовые равновесия в системе Si-H.
34. Формирование транзисторной матрицы на основе аморфного кремния.
35. Технология электронно-лучевых трубок.
36. Технология вакуумного флуоресцентного дисплея.
37. Технология плазменной панели.
38. Технология электросмачивающего дисплея.
39. Основные классы органических люминесцирующих структур.
40. Теоретическая модель органических светоизлучающих диодов.
41. Технология органического электролюминесцирующего дисплея.

## **Семестр 2**

### **Раздел 1. Максимальная оценка – 30 баллов**



1. Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения.
2. Современные системы численного моделирования диаграмм фазовых равновесий и их использование для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.

## **Раздел 2. Максимальная оценка – 30 баллов**

1. Экспериментальные методы исследования материалов электронной техники и гетерофазных пленочных структур с помощью электронной микроскопии.
2. Возможности современных сканирующих электронных микроскопов с различными системами формирования энергетических пучков.
3. Особенности математической обработки сигналов электронных и ионных систем анализа поверхности материалов.
4. Методы анализа фазового, структурного и элементного состава в современных системах сканирующей электронной микроскопии.
5. Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения.
6. Возможности современных систем рентгеновской дифракции.
7. Особенности программного обеспечения для обработки результатов дифрактограмм кристаллических, аморфных и наноразмерных объектов.

## **Семестр 3**

### **Раздел 3. Максимальная оценка – 30 баллов**

1. Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в виде твердых фаз
2. Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в форме растворов.
3. Особенности пробоподготовки твердых фаз для проведения исследований микропримесного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой
4. Способы борьбы с интерференциями пиков в методах масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и плазмой тлеющего разряда
5. Способы снижения пределов определения концентраций примесей в различных методах исследованиях микропримесного состава
6. Особенности количественного анализа микропримесного состава методом вторично-ионной масс-спектрометрии

### **Раздел 4. Максимальная оценка – 30 баллов**

1. Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов для фотоники и электроники.
2. Особенности математической обработки спектральных и спектрально-кинетических данных.

3. Причины уширения спектров люминесценции – однородное и неоднородное уширение.
4. Штарковское расщепление линий.
5. Спектры люминесценции многоцентровых материалов.
6. Разложение спектров на элементарные компоненты.
7. Кинетика затухания люминесценции
8. Влияние на кинетику затухания люминесценции кооперативных процессов и ион-ионного взаимодействия.
9. Влияние на кинетику затухания люминесценции температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции.
10. Расчет квантового выхода.
11. Построение кинетических кривых и расчет времени жизни сложных, многоцентровых люминофоров.

#### **Раздел 5. Максимальная оценка – 25 баллов**

3. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники по признаку термодинамической фазы.
4. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов электроники по признаку термодинамической фазы.
5. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники по химическому составу.
6. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов электроники по химическому составу.
7. Способы формирования однослойных пленочных структур для приборов фотоники, исходя из термодинамических характеристик, включая многослойные структуры.
8. Способы формирования многослойных пленочных структур для приборов фотоники, исходя из термодинамических характеристик.
9. Способы формирования однослойных пленочных структур для приборов электроники, исходя из термодинамических характеристик, включая многослойные структуры..
10. Способы формирования многослойных пленочных структур для приборов электроники, исходя из термодинамических характеристик.
11. Метод инкрементов для прогнозирования термодинамических характеристик химических соединений.

#### **Раздел 6. Максимальная оценка – 25 баллов**

1. Классификация методов получения гетерофазных пленочных структур на основе термодинамического анализа процессов.
2. Характеристики методов получения гетерофазных пленочных структур при нормальных и пониженных статических давлениях.
3. Термодинамические основы метода послойного атомного осаждения.
4. Термодинамические особенности молекулярно-лучевого осаждения.

5. Термодинамические особенности методов формирования структур на основе фаз высокого давления.
6. Растворные методы формирования гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.
7. Расплавные методы формирования гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения

#### **Раздел 7. Максимальная оценка – 10 баллов**

8. Теоретические основы оптических методов измерения толщин тонких пленок в динамическом режиме.
9. Лазерная интерферометрия
10. Лазерная эллипсометрия.
11. Фотометрия. Метод светового сечения.
12. Пьезотензиметрический метод определения массы растущей пленки.
13. Методы определения толщин проводящих (металлических) пленок.
14. Рентгенофлуоресцентный метод анализа состава при определении составов однослойных и двухслойных многокомпонентных пленок.
15. Особенности применения методов емкостной спектроскопии для проведения онлайн измерений функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.
16. Лазерно-индуцированные методы измерения люминесцентных и оптических характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.

#### **8.4 Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – зачет с оценкой, 2 семестр – экзамен, 3 семестр – экзамен).**

#### **Семестр 2**

Максимальная оценка – 40 баллов.

1. Современные информационные системы по физико-химическим свойствам материалов для изготовления гетерофазных структур различного функционального назначения.
2. Современные системы численного моделирования диаграмм фазовых равновесий и их использование для выбора условий получения гетерофазных тонкопленочных структур различного функционального назначения.
3. Экспериментальные методы исследования материалов электронной техники и гетерофазных пленочных структур с помощью электронной микроскопии.
4. Возможности современных сканирующих электронных микроскопов с различными системами формирования энергетических пучков.
5. Особенности математической обработки сигналов электронных и ионных систем анализа поверхности материалов.

6. Методы анализа фазового, структурного и элементного состава в современных системах сканирующей электронной микроскопии.
7. Особенности применения рентгено-флуоресцентного анализа в режимах энерго-дисперсионного и волнового измерения.
8. Возможности современных систем рентгеновской дифракции.
9. Особенности программного обеспечения для обработки результатов дифрактограмм кристаллических, аморфных и наноразмерных объектов.

### **Семестр 3**

Максимальная оценка – 40 баллов.

1. Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в виде твердых фаз
2. Экспериментальные методы исследования микропримесного состава объемных препаратов в форме растворов.
3. Особенности пробоподготовки твердых фаз для проведения исследований микропримесного состава методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой
4. Способы борьбы с интерференциями пиков в методах масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и плазмой тлеющего разряда
5. Способы снижения пределов определения концентраций примесей в различных методах исследования микропримесного состава
6. Особенности количественного анализа микропримесного состава методом вторично-ионной масс-спектрометрии
7. Экспериментальные методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик объемных, поликристаллических и тонкопленочных материалов для фотоники и электроники.
8. Особенности математической обработки спектральных и спектрально-кинетических данных.
9. Причины уширения спектров люминесценции – однородное и неоднородное уширение.
10. Расчет квантового выхода.
11. Штарковское расщепление линий. Спектры люминесценции многоцентровых материалов. Разложение спектров на элементарные компоненты.
12. Кинетика затухания люминесценции. Влияние на кинетику затухания люминесценции кооперативных процессов и ион-ионного взаимодействия.
13. Влияние на кинетику затухания люминесценции температурного, концентрационного и примесного тушения люминесценции.
14. Построение кинетических кривых и расчет времени жизни сложных, многоцентровых люминофоров.

1. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники по признаку термодинамической фазы.
2. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов электроники по признаку термодинамической фазы.
3. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники по химическому составу.
4. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов электроники по химическому составу.
5. Способы формирования однослойных пленочных структур для приборов фотоники, исходя из термодинамических характеристик, включая многослойные структуры.
6. Способы формирования многослойных пленочных структур для приборов фотоники, исходя из термодинамических характеристик.
7. Способы формирования однослойных пленочных структур для приборов электроники, исходя из термодинамических характеристик, включая многослойные структуры.
8. Способы формирования многослойных пленочных структур для приборов электроники, исходя из термодинамических характеристик.
9. Метод инкрементов для прогнозирования термодинамических характеристик химических соединений.
10. Классификация методов получения гетерофазных пленочных структур на основе термодинамического анализа процессов.
11. Характеристики методов получения гетерофазных пленочных структур при нормальных и пониженных статических давлениях.
12. Термодинамические основы метода послойного атомного осаждения.
13. Термодинамические особенности молекулярно-лучевого осаждения.
14. Термодинамические особенности методов формирования структур на основе фаз высокого давления.
15. Растворные методы формирования гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.
16. Расплавные методы формирования гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.
17. Теоретические основы оптических методов измерения толщин тонких пленок в динамическом режиме.
18. Лазерная интерферометрия.
19. Лазерная эллипсометрия.
20. Фотометрия. Метод светового сечения.
21. Пьезотензиметрический метод определения массы растущей пленки.

22. Методы определения толщин проводящих (металлических) пленок.
23. Рентгенофлуоресцентный метод анализа состава при определении составов однослойных и двухслойных многокомпонентных пленок.
24. Особенности применения методов емкостной спектроскопии для проведения онлайн измерений функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.
25. Лазерно-индуцированные методы измерения люминесцентных и оптических характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.

### Вопросы к 1-му зачету с оценкой для 1-й промежуточной аттестации (1-й семестр)

Билет для зачета состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Ответы на вопросы оцениваются из максимальной оценки 40 баллов по 20 баллов за каждый вопрос.

Пример билета для экзамена:

<p>«Утверждаю» Зав.кафедрой</p> <p>И.Х. Аветисов</p> <hr/> <p>«__» _____ 20__ г.</p>	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра химии и технологии кристаллов
	<p>Направление подготовки бакалавров 18.04.01 Химическая технология Профиль «Технология функциональных материалов электроники и фотоники» Дисциплина «Научные основы технологии получения гетерофазных пленочных структур с заданными свойствами»</p>
<p align="center"><b>Билет № 1</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники по химическому составу.</li> <li>2. Метод инкрементов для прогнозирования термодинамических характеристик химических соединений.</li> </ol>	

### Вопросы к 2-му зачету с оценкой для 2-й промежуточной аттестации (2-й семестр)

Билет для зачета состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Ответы на вопросы оцениваются из максимальной оценки 40 баллов по 20 баллов за каждый вопрос.

Пример билета для экзамена:

<p>«Утверждаю» Зав.кафедрой</p>	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

И.Х. Аветисов	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки бакалавров 18.04.01 Химическая технология Профиль «Технология функциональных материалов электроники и фотоники» Дисциплина «Научные основы технологии получения гетеро- фазных пленочных структур с заданными свойствами»</b>
«__» _____ 20__ г.	
<b>Билет № 1</b>	
1. Лазерная эллипсометрия.  2. Лазерно-индуцированные методы измерения люминесцентных и оптических характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.	

Экзамен по дисциплине «Научные основы технологии получения гетеро-фазных пленочных структур с заданными свойствами» включает контрольные вопросы по всем разделам учебной программы дисциплины. Экзаменационный билет состоит из 3 вопросов, относящихся к разным разделам курса. Первый и второй вопросы билета предусматривают развернутые ответы студента по достаточно объемной тематике, третий – краткий ответ по конкретизированной тематике. Ответы на вопросы экзаменационного билета оцениваются из 40 баллов следующим образом: первый и второй вопросы – по 15 баллов каждый, третий вопрос – 10 баллов.

«Утверждаю» Зав.кафедрой _____ 20__  И.Х. Аветисов _____	<b>МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология Профиль «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Химическая технология тонкопленочных гетероструктур</b>
<b>Билет № 1</b>	
1. Жидкие кристаллы. Классификация, основные характеристики, методы получения.  2. Пространственно-временные модуляторы света. Назначение и принцип действия основных типов ПВМС.  3. Технология активационного отжига по методу Ван-Доорна	

Пример экзаменационного билета:

«Утверждаю» Зав.кафедрой	<b>МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>

<p><i>И.Х. Аветисов</i></p> <hr/> <p>«__» _____ 20__ г.</p>	<p><b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b></p>
	<p><b>Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология</b>  <b>Профиль «Технология функциональных материалов</b>  <b>электроники и фотоники»</b></p>
	<p><b>Химическая технология тонкопленочных гетероструктур</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Экзаменационный билет № 3</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация основных веществ, используемых при изготовлении гетерофазных пленочных структур для приборов электроники по признаку термодинамической фазы.</li> <li>2. Термодинамические основы метода послойного атомного осаждения</li> <li>3. Теоретические основы оптических методов измерения толщин тонких пленок в динамическом режиме.</li> </ol>	

## 9 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1 Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. Высокочистые вещества. Коллектив авторов. М., Научный мир, 2018, 996 с.
2. Кузнецов В.В., Москвин П.П. Межфазные взаимодействия при гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов. Москва.: Лань. 2019. 376 с. ISBN 978-5-8114-3809-9.
3. Мокроусов Г.М., Зарубина О.Н., Бекезина Т.П. Межфазные превращения и формирование поверхности многокомпонентных полупроводников в жидких средах. Москва.: Лань. 2015. 112 с. SBN 978-5-8114-1872-5.
4. В. П. Зломанов, И. Х. Аветисов, Е. Н. Можевитина. Физическая химия твердого тела. Р–Т–х диаграммы фазовых равновесий: учеб. пособие, М., РХТУ, 2019, 184 с.
5. В.А. Пустоваров Люминесценция и релаксационные процессы в диэлектриках, Учебное пособие по дисциплинам «Физика твердого тела» и «Физика конденсированного состояния» Екатеринбург 2015, Информационный портал УрФУ — URL: <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13420/1/Pustovarov.pdf> (дата обращения: 03.04.2019). — Режим доступа:- свободный доступ.
6. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур: учебное пособие /Тимофеев В.Б. — Издательство Лань 2015 - 512 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/56612> (дата обращения: 03.04.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Б. Дополнительная литература

1. А.Ю.Зиновьев, А.Г.Чердиченко, И.Х.Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Теоретические основы и материалы. Учебное пособие. М.: РХТУ им.Д.И.Менделеева, 2010. 62с.
2. А.Ю.Зиновьев, И.Х.Аветисов, А.Г.Чердиченко Технология органических электролюминесцентных устройств. Гетероструктуры. Учебное пособие. М.: РХТУ им.Д.И.Менделеева, 2011. 63с.



3. В. П. Зломанов Фазовые равновесия. Химия дефектов в кристалле. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2011, 114с.
4. И.Х. Аветисов, Е.Н. Можевитина, О.Б. Петрова Построение  $P$ – $T$ -х диаграмм фазовых равновесий. Задачник: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 80 с.
5. А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Ф. Третьяков. Химия твердого тела, Изд. Центр «Академия» / 2006
6. Е.П. Шешин. Вакуумные технологии, 504с., Интеллект, 2009
7. Современные методы высоковакуумного напыления и плазменной обработки тонкопленочных металлических структур. Вдовичев С.Н. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 60 с.
8. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники, СПб, 2003
9. Е. Берлин, С. Двинин, Л. Сейдман. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. М. Техносфера, 2007, 170 с.
10. Антоненко С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. – 104 с.
11. Технология тонких пленок: Справочник в 2-х томах/ Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга – М.: Сов. радио, 1977. – 664 с. и 770 с.
12. Василенко О.А. Оптические явления в твердом теле: конспект лекций: Учеб. пособие М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 136 с.
13. Холодков И.В., Ефремов А.М., Светцов В.И.. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – ГОУВПО «Иван. гос. хим.-технол. ун-т» - Иваново, 2004. – 195 с.
14. В.Н. Портнов, Е.В. Чупрунов. Возникновение и рост кристаллов. М.: Физматлит, 2006, 328 с.
15. 1. ... П.В. Ковтуненко Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. – М.: Высшая школа, 1993.
16. А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, И.Х. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Теоретические основы и материалы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2010. 62с.
17. А.Ю. Зиновьев, И.Х. Аветисов, А.Г. Чередниченко Технология органических электролюминесцентных устройств. Гетероструктуры. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2011. 63с.
18. И.Х. Аветисов, А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, Р.И. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Технологические процессы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 64с.
19. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. Высшее образование, Юрайт-Издат., 2009.
20. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. Пер. с англ. М.: Мир, 2005.
21. О.Б. Петрова Физическая электроника (полупроводники). Решение задач: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013 - 44 с.
22. О.П.Федоров. Процессы роста кристаллов: кинетика, формообразование, неоднородности. Наукова думка, Киев, 2010, 208 с.

23. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие / В. И. Старосельский. – М.: Юрайт, 2011. – 463 с.
24. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение. Учебное пособие. М.: Техносфера, 2006.
25. И.Х. Аветисов, Е.Н. Можевитина, О.Б. Петрова Построение  $P$ – $T$ - $x$  диаграмм фазовых равновесий. Задачник: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 80 с.
26. Григорьев Ф.И. Осаждение тонких пленок из низкотемпературной плазмы и ионных пучков в технологии микроэлектроники: Учебное пособие / Моск. гос. ин-т электроники и математики. М., 2006. 36с
27. П.В. Ковтуненко Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. – М.: Высшая школа, 1993.
28. А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, И.Х. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Теоретические основы и материалы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2010. 62с.
29. А.Ю. Зиновьев, И.Х. Аветисов, А.Г. Чередниченко Технология органических электролюминесцентных устройств. Гетероструктуры. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2011. 63с.
30. И.Х. Аветисов, А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, Р.И. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Технологические процессы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 64с.
31. М.Г. Томилин, Г.Е. Невская. Дисплеи на жидких кристаллах. Учебное пособие, С.-Петербург, ИТМО, 2010. 108с.
32. Ю.С. Кузьминов, Е.Е. Ломонова, В.В. Осико. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. М., Наука, 2004. 370с.
33. Б.Г. Зималин, Н. Н. Рукавишников. Неодимовые лазеры. Учебное пособие. СарФТИ. 2010.
34. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
35. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М. Высш. шк., 2001.
36. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М.; Высш.шк.,1990, 423 с.
37. Парфенов О.Д. Технология микросхем. М.; Высш.шк.,1986, 320 с.
38. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011 400с
39. Ковтуненко П.В. Физическая химия твердого тела. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1993, 352 с.

## 9.2 Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Оптика и спектроскопия», ISSN 0030-4034

- Журнал «Квантовая электроника», ISSN 0368-7147
- Журнал «Оптический журнал», ISSN 1023-5086
- Журнал «Optical Materials», ISSN 0925-3467
- Журнал «IEEE Journal of Quantum Electronics», ISSN 0018-9197
- Журнал «Journal of Crystal Growth», ISSN 0022-0248
- Журнал «Crystal Research and Technology», ISSN 0232-1300
- Журнал «Cryst. Eng.Comm.», ISSN 1466-8033
- Журнал «Journal of Non-Crystalline Solids», ISSN 0022-3093
- Журнал «European Journal of Inorganic Chemistry», ISSN 1434-1948
- Журнал «Кристаллография», ISSN 0023-4761
- Журнал «Неорганические материалы», ISSN 0002-337X
- Журнал «Журнал неорганической химии», ISSN 0044-457X
- Журнал «Журнал экспериментальной и теоретической физики», ISSN 0044-4510
- Журнал «Физика твердого тела», ISSN 0367-3294

## **10 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Гетерофазные пленочные структуры»* проводятся в форме лекций, практических занятий, лабораторных работ и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1 Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью;

библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

#### **11.2 Учебно-наглядные пособия:**

Пособия не требуются

#### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

#### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

#### **11.5 Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

## 12 ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1. Физико-химические основы технологии гетерофазных структур.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Основные неорганические и органические материалы и индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.</li> <li>– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.</li> <li>– Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных</li> </ul>	<p>Оценка за тест,</p> <p>Оценка контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (1 семестр)</p>

	<p>производителей.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.</li> <li>– Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.</li> <li>– Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.</li> <li>– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.</li> <li>– Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники,</li> <li>– Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов</li> </ul>	
--	---	--

	<p>фотоники и электроники.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами..</li> <li>– Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 2. Технологии гетерофазных структур с электрической системой обработкой информации.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Основные неорганические и органические материалы и индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.</li> <li>– Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.</li> <li>– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.</li> <li>– Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>– Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства</li> </ul>	<p>Оценка контрольную работу №2 (1 семестр)</p> <p>Оценка за <i>зачет с оценкой</i> (1 семестр)</p>

	<p>гетерофазных пленочных структур.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники и фотоники.</li> <li>– Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.</li> <li>– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.</li> <li>– Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.</li> <li>– Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.</li> <li>– Выбирать методы формирования</li> </ul>	
--	---	--



	<p>гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.</li> <li>– Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники,</li> <li>– Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов фотоники и электроники.</li> <li>– Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами..</li> <li>– Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 3. Технологии гетерофазных структур с оптической системой обработкой информации.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Основные неорганические и органические материалы и</li> </ul>	<p>Оценка за реферат</p> <p>Оценка контрольную работу №3 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (2 семестр)</p>

	<p>индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.</li> <li>– Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.</li> <li>– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.</li> <li>– Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>– Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники и фотоники.</li> <li>– Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазных</li> </ul>	
--	---	--

	<p>пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.</li> <li>– Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.</li> <li>– Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.</li> <li>– Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.</li> <li>– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.</li> <li>– Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и</li> </ul>	
--	--	--

	<p>обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники,</p> <p>– Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов фотоники и электроники.</p> <p>– Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами..</p> <p>– Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.</p>	
<p><b>Раздел 4. Технологии гетерофазных структур с магнитной системой обработки информации.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <p>– Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</p> <p>– Основные неорганические и органические материалы и индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.</p> <p>– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.</p> <p>– Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.</p> <p>– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.</p>	<p>Оценка за реферат</p> <p>Оценка контрольную работу №3 (2 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (2 семестр)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>– Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники и фотоники.</li> <li>– Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.</li> <li>– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.</li> <li>– Осуществлять выбор методов и оборудования для производства гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и</li> </ul>	
--	---	--

	<p>электроники различного функционального назначения.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.</li> <li>– Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.</li> <li>– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.</li> <li>– Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники,</li> <li>– Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов фотоники и электроники.</li> <li>– Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами..</li> <li>– Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных</li> </ul>	
--	---	--

	структур для изделий фотоники и электроники.	
<p><b>Раздел 5. Информационные системы и системы численного моделирования для технологий гетерофазных структур.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.</li> <li>– Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.</li> <li>– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.</li> <li>– Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники и фотоники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Извлекать информацию о физико-химических характеристиках веществ, на основе которых формируются гетерофазных пленочные структуры изделий электроники, современные баз данных отечественных и зарубежных производителей.</li> <li>– Формировать пакет входных</li> </ul>	<p>Оценка контрольную работу №4 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>

	<p>экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.</li> <li>– Ориентироваться в выборе оптимального набора методов контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами.</li> <li>– Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.</li> <li>– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информацией о современных и перспективных методах получения гетерофазных пленочных структур пленок для различных приборов электроники.</li> <li>– Информацией по методам контроля параметров пленочных структур</li> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники,</li> <li>– Методами формирования гетерофазных пленочных структур с толщинами от единиц нанометров до сотен микрон для приборов</li> </ul>	
--	---	--



	<p>фотоники и электроники.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Современными способами контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур, формируемых различными методами..</li> </ul> <p>Современными способами контроля функциональных характеристик отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.</p>	
<p><b>Раздел 6. Современные методы контроля состава, морфологии и функциональных параметров гетерофазных пленочных структур для фотоники и электроники.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Классификация методов получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Основные неорганические и органические материалы и индивидуальные вещества, которые используются для получения активных и пассивных слоев современных гетерофазных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Физико-химические основы технологий гетерофазных структур на основе неорганических и органических химических соединений.</li> <li>– Закономерности формирования собственных и примесных точечных дефектов в неорганических и органических материалах при получении гетерофазных структур различными методами.</li> <li>– Современные технологии формирования гетерофазных структур для фотоники и электроники.</li> <li>– Классификация оборудования для получения пленок в технологиях гетерофазных пленочных структур для приборов электроники.</li> <li>– Основные этапы проектирования приборов электроники на основе гетерофазных пленочных структур.</li> <li>– Технологические и эксплуатационные требования к оборудованию для производства гетерофазных пленочных структур.</li> </ul>	<p>Оценка контрольную работу №5 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Факторы, определяющие технологические потери при производстве гетерофазных пленочных структур для приборов электроники и фотоники.</li> <li>– Современные информационные базы данных, содержащих физико-химические характеристики веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники и фотоники.</li> <li>– Современные отечественные и международные стандарты в технологиях материалов и структур электроники и фотоники.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Формировать пакет входных экспериментальных данных в различные системы численного моделирования для расчета процессов синтеза многокомпонентных гетерофазных структур.</li> <li>– Анализировать информацию и на ее основе осуществлять выбор материалов и технологий для создания гетерофазных пленочных структур для приборов фотоники и электроники различного функционального назначения.</li> <li>– Выбирать методы формирования гетерофазных многослойных пленочных структур с заданными функциональными характеристиками.</li> <li>– Составлять компоненты технологической документации с учетом современных отечественных (ОСТ, ГОСТ) и зарубежных стандартов (SEMI).</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками работы с современными информационными ресурсами в области хранения и обработки данных по физико-химическим характеристикам веществ, на основе которых формируются гетерофазные пленочные структуры изделий электроники,</li> <li>- Современными способами контроля функциональных характеристик</li> </ul>	
--	--	--

	отдельных слоев и многослойных гетерофазных структур для изделий фотоники и электроники.	
--	--	--

### **13 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Гетерофазные пленочные структуры»**

**основной образовательной программы**

18.04.01.68 Химическая технология

магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

Д.х.н., профессором кафедры химии и технологии кристаллов О.Б. Петровой

К.х.н., доцентом кафедры химии и технологии кристаллов И.В. Степановой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 18.04.01. Химическая технология, магистерская программа: Технология функциональных материалов электроники и фотоники с рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **химии и технологии кристаллов** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Инструментальные методы исследования в химической технологии»** относится к обязательной части дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области неорганического материаловедения, в частности в области технологии полупроводниковых и диэлектрических кристаллов и других материалов электронной техники. Также дисциплина неразрывно связана со знаниями, полученными обучающимися в курсе «Методы исследования материалов электроники и фотоники» в рамках обучения в бакалавриате по профилю «Химическая технология материалов электроники».

**Цель дисциплины** – обучение студентов магистратуры знаниям, умениям и навыкам применения различных методов исследования материалов электроники и фотоники, а также знакомство с современным оборудованием для характеристики и контроля качества монокристаллических и наноструктурированных материалов и пленочных структур технического и ювелирного назначения.

### **Задачи дисциплины:**

- ознакомить студентов магистратуры с современными инструментальными методами исследования;
- сформировать у обучающихся фундаментальную базу в области исследования свойств, характеристики и контроля качества кристаллических материалов;
- выработать у студентов системный подход к постановке, выполнению и анализу результатов научных исследований;
- научить студентов разрабатывать стратегию исследования материалов электроники и фотоники, исходя из знания о разрушающих и неразрушающих методах исследования;
- научить студентов самостоятельно выбирать методы исследования, в том числе нестандартные.

Дисциплина **«Инструментальные методы исследования в химической технологии»** преподается в 1 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.



## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

### **Общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Наименование категории (группы) ОПК	Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК
Научные исследования и разработки	ОПК-1. Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок.	ОПК-1.4. Умеет использовать методы научного исследования при решении научных задач; ОПК-1.5 Умеет формулировать и представлять результаты научного исследования; ОПК-1.6 Владеет методами научного исследования;
Профессиональная методология	ОПК-2 Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты для решения производственных и научных задач.	ОПК-2.1 Знает теорию физико-химических методов анализа ОПК-2.2 Знает принципы работы основных приборов в инструментальных методах химического анализа ОПК-2.3 Знает методы целенаправленного сбора и анализа научной литературы ОПК-2.4 Умеет применять приобретенные практические навыки в профессиональной деятельности для решения конкретных задач ОПК-2.5 Умеет анализировать научную литературу с целью выбора направления исследования по заданной теме ОПК-2.6 Владеет идеологией и системой выбора инструментальных методов химического анализа, а также оценкой возможностей каждого метода ОПК-2.7 Владеет метрологическими основами инструментальных методов анализа ОПК-2.8 Владеет способами обработки полученных результатов и анализа их с учетом имеющихся литературных данных

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,
- устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа,
- требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,
- ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода.

*Уметь:*

- выбирать методику проведения научного исследования,
- обрабатывать экспериментальные данные,
- анализировать результаты научных исследований.

*Владеть:*

- навыками использования методов анализа для решения практических научно-исследовательских задач

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>2</b>	<b>68</b>	<b>51</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>0,5</b>	<b>17</b>	<b>12,75</b>
Лекции	0,5	16	12
Практические занятия (ПЗ)	0,5	18	13,5
Лабораторные работы (ЛР)	1	34	25,5
в том числе в форме практической подготовки <i>(при наличии)</i>	0,5	17	12,75
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2</b>	<b>76</b>	<b>57</b>
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		75,6	56,7
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Зачет с оценкой</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	в т.ч. в форме пр. подг.)	Лекции	Прак. зан.	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг.	Сам. работа
1.	Раздел 1. Масс-спектрометрический анализ.	32	5	4	4	9	5	10
2.	Раздел 2. Методы изучения структурных деталей разного масштаба.	43	4	3	4	8	4	20
3.	Раздел 3. Электронно-парамагнитный резонанс.	21	-	3	3	-	-	15
4.	Раздел 4. Колебательная спектроскопия.	38	4	3	3	9	4	15
5	Раздел 5. Люминесцентная оптическая спектроскопия.	35	4	3	4	8	4	16
	ИТОГО	144	17	16	18	34	17	76

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Масс-спектрометрический анализ.**

Общая схема метода. Виды ионизации частиц. Сравнение различных типов масс-анализаторов (магнитный, квадрупольный, времяпролетный, с ионно-циклотронным резонансом). Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Блок-схема ИСП масс-спектрометра и назначение его основных систем. Пробоподготовка для ИСП-МС. Особенности количественного анализа: калибровка, внутренний стандарт, стандартная добавка, изотопное разбавление. Интерференции в ИСП-МС и способы их устранения. Возможности метода и области применения.

### **Раздел 2. Методы изучения структурных деталей разного масштаба.**

Электронная микроскопия. Устройство и разрешающая способность электронного микроскопа. Просвечивающая электронная микроскопия. Особенности подготовки органических и неорганических образцов: срезы, пленки (фольги), суспензии, реплики, многослойные образцы. Способы повышения контрастности изображения. Примеры изображений. Достоинства и недостатки метода. Сканирующая (растровая) электронная микроскопия. Схема процессов, протекающих в образце при его взаимодействии с электронным пучком. Разрешающая способность микроскопа. Факторы, влияющие на вторичную эмиссию электронов. Требования, предъявляемые к образцам. Примеры изображений. Различия в формировании изображений просвечивающим и растровым микроскопом. Достоинства и недостатки метода. Преимущества растрового микроскопа по сравнению с просвечивающим. Туннельная сканирующая микроскопия. Природа туннельного эффекта. Устройство и основные характеристики туннельного микроскопа. Достоинства и недостатки метода. Примеры изображений. Атомно-силовая микроскопия. Взаимодействие атомов зонда и образца. Потенциал Леннарда-Джонса. Принцип и режимы работы атомно-силового микроскопа. Блок-схема метода. Подготовка образцов. Возможности метода. Достоинства и недостатки метода. Примеры изображений.

### **Раздел 3. Электронно-парамагнитный резонанс.**

Парамагнитные частицы. Классическая теория ЭПР. Магнитный момент частицы, причины его существования, его проекции. Энергия частицы в магнитном поле. Квантовая теория ЭПР. Эффект Зеемана. Виды спектров ЭПР. Основные параметры спектров ЭПР и информация, которую они несут. Интенсивность, форма и ширина резонансной линии. Фактор спектроскопического расщепления. Константы тонкой и сверхтонкой структуры. Примеры спектров ЭПР. Оборудование для ЭПР спектроскопии. Блок-схема радиоспектрометра. Возможности метода. Ядерный магнитный резонанс. Квантовая теория ЯМР. Частицы, применяемые в спектроскопии ЯМР. Основные параметры спектров ЯМР и информация, которую они несут. Химический сдвиг. Мультиплетность. Константа спин-спинового взаимодействия. Площадь сигнала резонанса. Примеры спектров. Подготовка образцов. Виды ЯМР-спектроскопии. Блок-схема ЯМР-спектрометра. Возможности метода.

### **Раздел 4. Колебательная спектроскопия.**

Комбинационное рассеяние света. Принципы и возможности метода, оборудование. Стоксова и антистоксова области. Квантовая и классическая трактовка комбинационного рассеяния. Характеристики линий – положение, ширина, поляризация. Трудности эксперимента, влияние люминесценции веществ. Типы колебаний – симметричное, антисимметричное и полносимметричное, валентное и деформационное. Вырожденные колебания. Полное колебательное представление. Применяемые лазеры и геометрии рассеяния. Фононы, магноны и поляритоны. Внешние и внутренние колебания, группировки в кристаллах. Бозонный пик. Исследование с помощью КРС полиморфизма, фазовых переходов, кристаллизации аморфных тел. Спектроскопия инфракрасного поглощения. Связь спектров ИК поглощения и КРС. Активные в ИК и КР линии. Подготовка образцов для КР и ИК. ИК-Фурье спектроскопия.

### **Раздел 5. Люминесцентная оптическая спектроскопия.**

Спектры люминесценции. Механизмы люминесценции. Характеристики спектров – ширина линий. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Эффект Штарка. Сечение люминесценции, сечение усиления. Уравнение Фухтбауэра – Ладенбурга. Кинетика люминесценции. Представление кинетических зависимостей. Расчетное время жизни возбужденного состояния. Влияние на кинетику процессов поглощения из возбужденного состояния, ап-конверсии, кросс-релаксации, кооперативного феофилового процесса. Селективная спектроскопия. Спектры возбуждения люминесценции. Спектры отражения. Спектры фотопроводимости. Спектрофлюориметры.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5
	<b>Знать:</b>						
1	– теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,		+	+	+	+	+
2	– устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа		+	+	+	+	+
3	– требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,		+	+	+	+	+
4	– ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода		+	+	+	+	+
	<b>Уметь:</b>						
5	– обрабатывать экспериментальные данные		+	+	+	+	+
6	– выбирать методику проведения научного исследования		+	+	+	+	+
7	– анализировать результаты научных исследований		+	+	+	+	+
	<b>Владеть:</b>						
8	– навыками использования методов анализа для решения практических научно-исследовательских задач		+	+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения</u> :							
	<b>Код и наименование ОПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ОПК</b>					
9	ОПК-1. Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок.	ОПК-1.4. Умеет использовать методы научного исследования при решении научных задач;	+	+	+	+	+
10		ОПК-1.5 Умеет формулировать и представлять результаты научного исследования;	+	+	+	+	+
11		ОПК-1.6 Владеет методами научного исследования;	+	+	+	+	+
12	ОПК-2 Способен использовать современные приборы и методики,	ОПК-2.1 Знает теорию физико-химических методов анализа.	+	+	+	+	+

13	организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты для решения производственных и научных задач.	ОПК-2.2 Знает принципы работы основных приборов в инструментальных методах химического анализа	+	+	+	+	+
14		ОПК-2.3 Знает методы целенаправленного сбора и анализа научной литературы	+	+	+	+	+
15		ОПК-2.4 Умеет применять приобретенные практические навыки в профессиональной деятельности для решения конкретных задач	+	+	+	+	+
16		ОПК-2.5 Умеет анализировать научную литературу с целью выбора направления исследования по заданной теме	+	+	+	+	+
17		ОПК-2.6 Владеет идеологией и системой выбора инструментальных методов химического анализа, а также оценкой возможностей каждого метода	+	+	+	+	+
18		ОПК-2.7 Владеет метрологическими основами инструментальных методов анализа	+	+	+	+	+
19		ОПК-2.8 Владеет способами обработки полученных результатов и анализа их с учетом имеющихся литературных данных.	+	+	+	+	+

## **6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ**

### **6.1. Практические занятия**

Практические занятия проводятся в виде защиты и обсуждения рефератов.

Примерные темы практических занятий по дисциплине (защита докладов по темам):

1. Хроматография. Различные виды: газовая, жидкостная, флюидная. Совмещение с масс-спектрометрией.
2. Исследование структуры кристаллов методом синхротронного излучения. Особенности синхротронного структурного анализа. Применение для крупных молекулярных кристаллов
3. ИК-Фурье спектроскопия. Возможности совмещения с оптическим и магнитным возбуждением.
4. Импедансная спектроскопия. Измерения комплексного сопротивления. Кондуктометрическая спектроскопия.
5. Измерение размеров и концентрации частиц в мутных средах. Спектроскопия динамического рассеяния света. Турбидиметрия и нефелометрия
6. Вариации рентгеноструктурного анализа для монокристаллов. Метод Лауэ. Получение и интерпретация кривых качания.
7. Оже-спектроскопия.
8. Наноиндентирование. Принципы метода, возможности и области применения
9. Методы определения теплопроводности и температуропроводности твердых тел. Измерение теплопроводности при низких (гелиевых) температурах
10. Ближнепольная оптическая микроскопия. Сравнение с электронной микроскопией
11. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия
12. Исследование оптической неоднородности кристаллов интерференционным методом и методом коноскопии с использованием лазерного излучения
13. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Наблюдение атомарных слоев.
14. Масс – анализатор с орбитальной ионной ловушкой (орбитрэп)
15. Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой
16. Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAFS –спектроскопия)
17. Ионно-пучковая диагностика: резерфордское обратное рассеяние (POP) ионов и рентгенофлуоресцентный анализ при ионном возбуждении (Particle-induced X-ray emission (PIXE)).



## 6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «*Инструментальные методы исследования в химической технологии*», а также дает знания об обработке результатов инструментального анализа.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 20 баллов (максимально по 4 – 5 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1	1	Обработка результатов масс-спектрометрического анализа примесной чистоты, составление уравнений коррекции для определяемых ионов.	4
2	1	Составление уравнений коррекции для определяемых ионов при масс-спектрометрическом анализе.	
3	2	Анализ СЭМ-изображений. Определение размеров и формы примесных включений в практически важных материалах электронной техники.	4
4	2	Анализ ПЭМ-изображений. Определение размеров и формы примесных включений	
5	3	Определение химической и структурной формулы соединения по анализу спектров ЭПР.	3
6	3	Определение химической и структурной формулы соединения по анализу спектров ЯМР.	
7	4	Обработка спектров ИК-поглощения образцов кристаллов и стекол.	3
8	4	Обработка спектров КРС образцов кристаллов и стекол. Сопоставление со спектрами ИК-поглощения	
9	5	Обработка спектров люминесценции образцов кристаллов и стекол, активированных f- или d-элементами. Расчет сечения люминесценции.	4
10	5	Обработка спектров возбуждения люминесценции образцов кристаллов и стекол, активированных f- или d-элементами.	4
11	5	Обработка кривых затухания люминесценции образцов кристаллов и стекол, активированных f- или d-элементами. Расчет времени жизни возбужденного состояния.	4

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче **зачёта с оценкой** и лабораторного практикума по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольной работы (максимальная оценка 25 баллов), лабораторного практикума (максимальная оценка 20 баллов), защиты реферата (максимальная оценка 15 баллов) и оценки на зачете (максимальная оценка 40 баллов).

### **8.1. Примерная тематика реферативно-аналитической работы.**

Реферат представляет собой письменный отчет и устный доклад обучающегося с мультимедийной презентацией и ответами на вопросы. Тематика рефератов охватывает современные физико-химические методы анализа, не рассматриваемые в рамках данного курса. Реферат должен включать в себя описание теоретических основ метода анализа, его аппаратное оформление, пробоподготовку, способы обработки и представления результатов анализа, возможности метода и области его применения. Доклад должен быть не менее 15–20 минут.

#### Максимальная оценка – 15 баллов

Примеры тем рефератов:

1. Хроматография. Различные виды: газовая, жидкостная, флюидная. Совмещение с масс-спектрометрией.
2. Исследование структуры кристаллов методом синхротронного излучения. Особенности синхротронного структурного анализа. Применение для крупных молекулярных кристаллов
3. ИК-Фурье спектроскопия. Возможности совмещения с оптическим и магнитным возбуждением.
4. Импедансная спектроскопия. Измерения комплексного сопротивления. Кондуктометрическая спектроскопия.

5. Измерение размеров и концентрации частиц в мутных средах. Спектроскопия динамического рассеяния света. Турбидиметрия и нефелометрия
6. Вариации рентгеноструктурного анализа для монокристаллов. Метод Лауэ. Получение и интерпретация кривых качания.
7. Оже-спектроскопия.
8. Наноиндентирование. Принципы метода, возможности и области применения
9. Методы определения теплопроводности и температуропроводности твердых тел. Измерение теплопроводности при низких (гелиевых) температурах
10. Ближнепольная оптическая микроскопия. Сравнение с электронной микроскопией
11. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия
12. Исследование оптической неоднородности кристаллов интерференционным методом и методом коноскопии с использованием лазерного излучения
13. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Наблюдение атомарных слоев.
14. Масс – анализатор с орбитальной ионной ловушкой (орбитэп)
15. Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой
16. Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAFS –спектроскопия)
17. Ионно-пучковая диагностика: резерфордское обратное рассеяние (POP) ионов и рентгенофлуоресцентный анализ при ионном возбуждении (Particle-induced X-ray emission (PIXE)).

## **8.2. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрена 1 контрольная работа. Максимальная оценка за контрольную работу составляет 25 баллов.

Поскольку реальные практические исследования структур и свойств материалов электронной техники предполагают всесторонний комплексный подход, то предлагаемые обучающимся исследовательские задачи объединяют в себе несколько разделов курса, и решение этих задач может быть основано, в том числе, на методах анализа, изученных в рамках дисциплин бакалавриата. Вопросы 1 и 2 контрольной работы посвящены решению реальных практических задач, а вопросы 3 и 4 – общей теории инструментальных методов.

### **Вопросы контрольной работы:**

#### **Вопрос 1 объединяет Разделы 1, 2 и 3. Максимальная оценка – 10 баллов**

1. Каким методом можно установить примесную чистоту полупроводникового SiC с точностью не менее  $10^{-12}$  г/г? Каким образом необходимо подготовить пробу образца? Из каких материалов должны быть изготовлены комплектующие для пробоподготовки, если для растворения SiC используют серную, фтористоводородную и азотную кислоты?

2. Сегнетоэлектрический кристалл KDP имеет доменную структуру. Как определить размеры доменов в этом кристалле?
3. При длительной термообработке стекла  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}3\text{GeO}_2$  поочередно выпадают 2 кристаллические наноразмерные фазы: сначала моноклинная  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$ , а затем кубическая  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . Как экспериментально определить время, необходимое для получения только  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ?
4. При исследовании рентгенограммы частично закристаллизованного стекла установили приблизительный размер кристаллитов – 30 нм. Каким методом можно уточнить размеры кристаллитов и провести их распределение по размерам?
5. Анализ химического состава кристалла показал, что в нем содержится примесь ионов марганца в количестве  $10^{20}$  частиц, а анализ этого же кристалла методом ЭПР показал концентрацию марганца только  $10^{15}$  частиц. Как объяснить подобное расхождение результатов?
6. В спектре протонного резонанса углеводородного соединения присутствует несколько полос, описываемых четырьмя интегральными кривыми. Интенсивность кривых соотносится между собой как 3:1:1:3. При этом известно, что кривые с одинаковой интенсивностью принадлежат одинаковым группам. Напишите химическую и структурную формулу соединения.
7. Необходимо провести анализ примесной чистоты образца на основе кадмия (Cd) методом МС-ИСП. Определение концентраций каких элементов будет затруднено, если в плазме образуются ионы типа  $\text{Cd}^+$ ,  $\text{Cd}^1\text{H}^+$ ,  $\text{Cd}^{16}\text{O}^+$ ,  $\text{Cd}^{16}\text{O}^1\text{H}^+$ . Приведите уравнения коррекции наложений от ионов  $\text{Cd}^+$  и  $\text{Cd}^1\text{H}^+$  на соответствующие элементы. Олово в образце отсутствует.
8. Необходимо провести анализ примесной чистоты образца на основе олова (Sn) методом МС-ИСП. Определение концентраций каких элементов будет затруднено, если в плазме образуются ионы типа  $\text{Sn}^+$ ,  $\text{Sn}^{++}$ ,  $\text{Sn}^{16}\text{O}^+$ . Приведите уравнения коррекции наложений от ионов  $\text{Sn}^+$  и  $\text{Sn}^{++}$  на соответствующие элементы. Цинк в образце отсутствует. В ходе проведения дополнительного измерения раствора на основе высокочистого олова (без кобальта) было установлено, что интенсивности на  $m/z$  59 и 118 равны соответственно  $a$  и  $b$  имп./с.

**Вопрос 2 объединяет Разделы 4 и 5. Максимальная оценка – 10 баллов**

1. В спектре поглощения прозрачного кристалла присутствует широкая полоса в области 600-650 нм. Каков цвет кристалла? В какой области может наблюдаться люминесценция, если для материала не характерны кооперативные процессы передачи энергии?
2. В спектрах комбинационного рассеяния двух полиморфных модификаций вещества с формулой  $\text{A}_2\text{B}(\text{BO}_3)_3$  область выше  $750\text{ см}^{-1}$  практически не отличается, а ниже отличается значительно. Что можно сказать о структуре и структурных группировках в этих веществах?
3. Прозрачный образец имеет в спектре поглощения полосу шириной 30 нм с максимумом 450 нм. Из электрофизических исследований известно, что ширина запрещенной зоны составляет 3,05 эВ. Каков цвет образца? Как повлияет на цвет узкая полоса поглощения в области 1580 нм?

4. При выращивании кристаллов из расплавов большую роль играет структура расплава. Замечено, что кристалл метабората, выращенный из расплава, перегретого выше температуры плавления на 30 К, значительно превосходит по качеству кристаллы, выращенные как при перегреве на 20 К, так и на 50 К. Каким методом можно определить причины такого поведения расплава и оптимальную температуру расплава для роста?
5. Из-за недостаточной чистоты исходных реактивов лантанборатное стекло получилось светло-зеленого цвета. Такую окраску могут давать ионы Cr, Pr, Dy в малых концентрациях. Какими методами определить, какой именно ион отвечает за окраску?
6. В одном из оптических электронных приборов используется кристалл, имеющий полиморфные модификации. Каким методом, не повреждая кристалл, определить его модификацию?
7. С помощью каких физико-химических методов различить в готовых ювелирных изделиях благородную шпинель и рубин?

**Вопрос 3 объединяет Разделы 1, 2 и 3. Максимальная оценка – 3 балла**

1. Основы метода масс-спектрометрии. Виды ионизации частиц.
2. Виды масс-анализаторов и принципы их действия.
3. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Общая блок-схема масс-спектрометра. Система введения пробы. Ионный источник.
4. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Общая блок-схема масс-спектрометра. Устройство масс-спектрометра. Вакуумная система.
5. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Интерференции и способы их устранения.
6. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Пробоподготовка, виды проб.
7. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Качественный и количественный анализ.
8. Устройство просвечивающего микроскопа. Виды образцов для просвечивающей электронной микроскопии.
9. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии. Фольги. Реплики.
10. Растровая электронная микроскопия. Возможности метода.
11. Растровая электронная микроскопия. Подготовка образцов.
12. Растровая электронная микроскопия. Преимущества РЭМ по сравнению с ПЭМ.
13. Туннельная сканирующая микроскопия. Достоинства и недостатки метода.
14. Туннельная сканирующая микроскопия. Теоретические основы метода.
15. Атомно-силовая микроскопия. Принцип метода. Режимы работы атомно-силового микроскопа.
16. Атомно-силовая микроскопия. Достоинства и недостатки метода.
17. Электронно-парамагнитный резонанс. Классическая теория ЭПР. Магнитный момент частицы, причины его существования, его проекции.
18. Электронно-парамагнитный резонанс. Квантовая теория ЭПР.

19. Основные параметры спектров ЭПР. Возможности метода.
20. Ядерный магнитный резонанс. Квантовая теория ЯМР.
21. Ядерный магнитный резонанс. Возможности метода. Подготовка образцов.
22. Основные параметры спектров ЯМР и информация, которую они несут. Химический сдвиг и его причины.
23. Блок-схема ЯМР-спектрометра. Методы реализации ЯМР (виды ЯМР-спектроскопии).

**Вопрос 4 объединяет Разделы 4 и 5. Максимальная оценка – 2 балла**

1. Вид спектров комбинационного рассеяния. Возможности метода.
2. Стоксова и анистоксова области спектров комбинационного рассеяния и люминесценции. Причины возникновения этих областей.
3. Квантовая и классическая трактовка комбинационного рассеяния. Активность линий в КР и ИК.
4. Характеристики линий спектров – положение, ширина, поляризация.
5. Трудности эксперимента по измерению КР: влияние засветки, люминесценции веществ, отстройки от возбуждающей линии.
6. Типы колебаний молекул – симметричное, антисимметричное и полносимметричное, валентное и деформационное. Вырожденные колебания. Полное колебательное представление.
7. Применяемые в люминесцентной и КР спектроскопии источники (лазеры) и геометрии рассеяния.
8. Колебания в кристаллах. Фононы, магноны и поляритоны. Внешние и внутренние колебания, группировки в кристаллах. Бозонный пик.
9. Исследование с помощью КРС полиморфизма, фазовых переходов, кристаллизации аморфных тел.
10. Спектры люминесценции. Механизмы люминесценции.
11. Характеристики линий спектров люминесценции. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Эффект Штарка.
12. Сечение люминесценции, сечение усиления. Уравнение Фухтбауэра – Ладенбурга.
13. Кинетика люминесценции. Представление кинетических зависимостей. Расчетное время жизни возбужденного состояния. Влияние на кинетику процессов поглощения из возбужденного состояния, ап-конверсии, кросс-релаксации, кооперативного феофиловского процесса.
14. Селективная спектроскопия. Спектры возбуждения люминесценции. Спектры отражения.
15. Спектры фотопроводимости. Связь спектров поглощения, люминесценции и фотопроводимости.
16. Спектрофлюориметры.

**8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины.**

Зачет с оценкой включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет состоит из 2 вопросов, относящихся к разным разделам курса. Вопросы билета предусматривают развернутые ответы обучающегося по

достаточно объемной тематике. Первый – представляет собой исследовательскую задачу и требует применения нескольких методов исследования, описания пробоподготовки и анализа результатов. Второй - описание принципов какого-либо метода анализа. Ответы на вопросы оцениваются из 40 баллов следующим образом: первый вопрос - 30 баллов, второй вопрос – 10 баллов.

Пример билета к зачету с оценкой:

<p>«Утверждаю» Руководитель программы</p> <p>_____20____</p> <p>_____</p> <p>И.Х. Аветисов</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра химии и технологии кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология</b> Магистерская программа «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»
	<b>Инструментальные методы исследования в химической технологии</b>
<p><b>Билет № 1</b></p> <p>1. В ходе эксперимента углеродные нанотрубки получали каталитическим осаждением из газовой фазы или лазерным распылением графита. Как определить, какой из методов синтеза позволяет получать более протяженные нанотрубки?</p> <p>2. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Пробоподготовка, виды проб.</p>	

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. Спектральные методы анализа. Практическое руководство : учебное пособие / В.И. Васильева, О.Ф. Стоянова, И.В. Шкутина, С.И. Карпов ; под редакцией В.Ф. Селемёнова, В.Н. Семенова. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 416 с. — ISBN 978-5-8114-1638-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/50168> (дата обращения: 29.05.2024). — Режим доступа: тестовый до 31.12.2024.
2. Исследование физико-химических свойств материалов : практикум : учебно-методическое пособие / Д.А. Бекетов, А.П. Храмов, А.Ю. Чуйкин, Г.В. Скопов. — Екатеринбург : УрФУ, 2014. — 46 с. — ISBN 978-5-7996-1104-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/98395> (дата обращения: 29.05.2024). — Режим доступа: тестовый до 31.12.2024.

### ***Б. Дополнительная:***

1. Атомно-абсорбционный анализ : учебное пособие / А.А. Ганеев, С.Е. Шолупов, А.А. Пупышев, А.А. Большаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-1117-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4028> (дата обращения: 29.05.2024). — Режим доступа: тестовый до 31.12.2024.
2. Ландсберг, Г. С. Оптика [Текст] : учебное пособие / Г. С. Ландсберг. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1976. - 926 с. : ил. - Именной и предм. указ.: с. 860-926. —
3. Лебухов, В.И. Физико-химические методы исследования : учебник / В.И. Лебухов, А.И. Окара, Л.П. Павлюченкова. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-1320-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4543> (дата обращения: 29.05.2024). — Режим доступа: тестовый до 31.12.2024.
4. Изотопная масс-спектрометрия легких газообразующих элементов / под редакцией В.С. Севастьянова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 240 с. — ISBN 978-5-9221-1344-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59754> (дата обращения: 29.05.2024). — Режим доступа: тестовый до 31.12.2024.
5. Миркин Л. И. Рентгеноструктурный анализ: Индексирование рентгенограмм: Справочное руководство / Л. И. Миркин. — М.: Наука, 1981. — 495 с.
6. Степанова И.В., Зыкова М.П., Волошин А.Э., Аветисов И.Х. Синхротронные, нейтронные и рентгеновские методы диагностики структуры функциональных материалов: в 2 ч. Часть 1. Рентгеновские методы. — М.: РХТУ, 2022. — 120 с.
7. Степанова И.В., Зыкова М.П., Волошин А.Э., Файков П.П., Аветисов И.Х. Синхротронные, нейтронные и рентгеновские методы диагностики структуры функциональных материалов: в 2 ч. Часть 2. Синхротронные и нейтронные методы. — М.: РХТУ, 2023. — 124 с.

## **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

Научно-технические журналы:

- «Кристаллография» <https://sciencejournals.ru/journal/krist/> ISSN 0023-4761
- «Оптика и спектроскопия» ISSN 0030-4034
- «Оптический журнал» ISSN 1023-5086
- «Квантовая электроника» ISSN 0368-7147.
- «Перспективные материалы» ISSN 1028-978X
- «Физика и химия стекла» <http://isc.nw.ru/Rus/GPCJ/index.htm> ISSN 0132-6651
- «Стекло и керамика» ISSN 0131-9582
- «Неорганические материалы» ISSN 0002-337X
- «Журнал неорганической химии» ISSN 0044-457X
- Journal of Crystal Growth ISSN печатной версии 0022-0248, ISSN онлайн-версии 1873-5002
- Crystal Research and Technology ISSN печатной версии 0232-1300, ISSN онлайн-версии 1521-4079
- Cryst. Eng.Comm ISSN 1466-8033
- European Journal of Inorganic Chemistry ISSN: 1434-1948 (print); 1099-0682 (web)
- Journal of Non-Crystalline Solids. ISSN 0022-3093



### 9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных практических занятий – 18 (общее число слайдов – 900);
- комплекты аналитических данных для практических занятий – 30;
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 22);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 39).

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Инструментальные методы исследования в химической технологии»* проводятся в форме лекций, практических и лабораторных занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### 11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

Учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

*Оборудование для анализа примесного состава материалов.*

Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой NexION 300D (Perkin Elmer) с системами высокочистого вскрытия проб с помощью микроволнового и термического автоклавирувания.

Вторично-ионный масс-спектрометр с время-пролетным масс-анализатором MiniSIMS (MILLBROOK Ltd.)

*Оборудование для проведения спектральных исследований:*

Спектрофотометр UNICO 2800 (190-1100 нм);

ИК-Фурье спектрометр Tensor-27 (Bruker GmbH).

Спектрофотометрический комплекс Ocean Optics, в составе 2 спектрофотометров видимого диапазона, рамановского спектрометра (200-2000 см<sup>-1</sup>) с возбуждающим излучением 785 нм, спектрометра ближнего ИК диапазона NIR Quest (700-1750 нм), с интегрирующими сферами и оптоволоконными соединительными кабелями, светодиодными и лазерными источниками возбуждения в диапазоне 257- 978 нм.

Комплекс оборудования для проведения исследований спектрально-люминесцентных характеристик Fluorolog FL-22 (Horiba Jobin Yvon) с системой анализа кинетики затухания люминесценции

*Оборудование для исследования образцов методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа – VEGA-3 LUMO (Tesla Inc.) и INCA Energy 3-D MAX ( Oxford Instruments).*

#### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Модели молекул и кристаллов для демонстрации типов колебаний при составлении колебательного представления в методах спектроскопии КР и ИК.

#### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

#### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

#### **11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	OriginPro 8.1 Department Wide License	Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10	1 лицензия для активации на рабочих станциях	бессрочная

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1. Масс-спектрометрический анализ.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,</li> <li>– устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа,</li> <li>– требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,</li> <li>– ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать методику проведения научного исследования,</li> <li>– обрабатывать экспериментальные данные,</li> <li>– анализировать результаты научных исследований</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования методов анализа для решения практических научно-исследовательских задач</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу (1 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторные работы (1 семестр)</p> <p>Оценка за реферат (1 семестр)</p> <p>Оценка за зачет</p>
<p><b>Раздел 2. Методы изучения структурных деталей разного масштаба.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,</li> <li>– устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа,</li> <li>– требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,</li> <li>– ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу (1 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторные работы (1 семестр)</p> <p>Оценка за реферат (1 семестр)</p> <p>Оценка за зачет</p>

	<p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать методику проведения научного исследования,</li> <li>– обрабатывать экспериментальные данные,</li> <li>– анализировать результаты научных исследований</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования методов анализа для решения практических научно-исследовательских задач</li> </ul>	
<p><b>Раздел 3. Электронно-парамагнитный резонанс.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,</li> <li>– устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа,</li> <li>– требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,</li> <li>– ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать методику проведения научного исследования,</li> <li>– обрабатывать экспериментальные данные,</li> <li>– анализировать результаты научных исследований</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования методов анализа для решения практических научно-исследовательских задач</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу (1 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторные работы (1 семестр)</p> <p>Оценка за реферат (1 семестр)</p> <p>Оценка за зачет</p>

<p><b>Раздел 4. Колебательная спектроскопия.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,</li> <li>– устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа,</li> <li>– требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,</li> <li>– ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать методику проведения научного исследования,</li> <li>– обрабатывать экспериментальные данные,</li> <li>– анализировать результаты научных исследований</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования методов анализа для решения практических научно-исследовательских задач</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу (1 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторные работы (1 семестр)</p> <p>Оценка за реферат (1 семестр)</p> <p>Оценка за зачет</p>
<p><b>Раздел 5. Люминесцентная оптическая спектроскопия.</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы и классификацию методов анализа, области их применения,</li> <li>– устройство и функциональные возможности оборудования, используемого для анализа,</li> <li>– требования, предъявляемые к объектам исследований, особенности подготовки образцов,</li> <li>– ограничения, накладываемые на использование методов, точность измерения характеристик материала для каждого метода.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать методику проведения научного исследования,</li> <li>– обрабатывать</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу (1 семестр)</p> <p>Оценка за лабораторные работы (1 семестр)</p> <p>Оценка за реферат (1 семестр)</p> <p>Оценка за зачет</p>

	<p>экспериментальные данные,          — анализировать результаты          научных исследований</p> <p><i>Владеет:</i></p> <p>- навыками использования          методов анализа для решения          практических научно-          исследовательских задач</p>	
--	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).



**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Инструментальные методы исследования в химической технологии»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология

магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ФОТОНИКИ, НАНО- И  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»**

**Направление подготовки  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена:

К.т.н. доцентом кафедры химии и технологии кристаллов, Файковым П.П.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева

---

(Наименование кафедры)

«23» мая 2025 г., протокол № 13.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой *химии и технологии кристаллов* РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина «Кристаллохимические особенности конструирования современных материалов фотоники, нано- и микроэлектроники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений к вариативной части дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области неорганического материаловедения, в частности в области технологии полупроводниковых и диэлектрических кристаллов и других материалов электронной техники.

**Цель дисциплины** – обучение студентов знаниям, умениям и навыкам использования информации производства материалов и компонентов микро- и наноэлектроники, формирование и совершенствование комплексного подхода к особенностям конструирования современных материалов и устройств современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники.

### **Задачи дисциплины:**

- формирование и совершенствование у студентов магистратуры представления о производстве материалов и компонентов микро- и наноэлектроники
- формирование и совершенствование комплексного подхода к особенностям конструирования современных материалов и устройств фотоники,
- овладение теоретическими и практическими знаниями основных процессов получения материалов и компонентов микро и наноэлектроники, необходимых студентам магистратуры для формирования их профессиональных компетенций

Дисциплина «Кристаллохимические особенности конструирования современных материалов фотоники, нано- и микроэлектроники» преподаётся в 1 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-3 Способен применять современные приборы и методы исследования, планировать, организовывать и проводить эксперименты и испытания, корректно обрабатывать и анализировать полученные результаты	ПК-3.3 Владеет приемами обработки, анализа и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)  Обобщенная трудовая функция Разработка конструкции и

				<p>технологии изготовления новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых</p>
--	--	--	--	---

				лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)  Обобщенная трудовая функция  С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и нанoeлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и нанoeлектроники  ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и нанoeлектроники с заданными функциональными свойствами -  ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и нанoeлектроники с заданными свойствами	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов

	технологического производства).			<p>квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Г. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.</p> <p>Г/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p>
--	---------------------------------	--	--	--



				<p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового,	Химическое, химико-технологическое	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления

теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	технологии новых материалов и изделий электроники и нанoeлектроники	нанoeлектроники  ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и нанoeлектроники	подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт 29.002 «Специалист технического обеспечения технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 сентября 2015 г. N 598н  Обобщенная трудовая функция  F. Координация работ по технической подготовке и сопровождению производства приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий.  F/02.7 Разработка требований к уровню технической подготовки производства и контрольных
--	---	---	--	--

				<p>показателей для его оценки (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.037 «Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>Е. Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов(Е/03.7 Разработка технологической концепции производства нового прибора (уровень квалификации – 7).</p> <p>Профессиональный стандарт 40.039 «Специалист в области разработки полупроводниковых лазеров», утвержденный приказом Министерства труда и</p>
--	--	--	--	--

				<p>социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 N 452н (ред. от 12.12.2016)</p> <p>Обобщенная трудовая функция</p> <p>С/03.7. Научно-техническое сопровождение изготовления опытной партии разработанной новой модели полупроводникового лазера (уровень квалификации – 7).</p>
--	--	--	--	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- основные направления в производстве современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;
- теоретические основы научных направлений конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;
- основные принципы методов исследования материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;
- физическую и химическую сущность процессов и явлений, протекающих в материалах и устройствах фотоники, нано- и микроэлектроники, как при их получении так и в ходе эксплуатации.

*Уметь:*

- правильно использовать закономерности для реализации потенциальных возможностей исходных компонентов и оборудования при проектировании и создании современных материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;
- применять знания для разработки структуры, закономерностей развития и устойчивости производства компонентов фотоники нано- и микроэлектроники;
- планировать и реализовывать исследования материалов фотоники и микроэлектроники, использовать результаты исследований в профессиональной деятельности;
- уметь использовать полученные знания для лучшего усвоения смежных дисциплин специализации на этапе обучения для выбора оптимальных технологических решений в будущей исследовательской работе.

*Владеть:*

- информацией о современных тенденциях развития систем фотоники, нано- и микроэлектроники для создания материалов и устройств с улучшенными физико-техническими характеристиками;
- навыками использования знаний о структуре и свойствах современных материалов и особенностях конструирования устройств для фотоники, микро- и наноэлектроники в будущей исследовательской работе

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр.ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,5</b>	<b>51</b>	<b>38,25</b>
Лекции	1	17	25,5
Практические занятия (ПЗ)	0,5	34	12,75
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1,5</b>	<b>57</b>	<b>42,75</b>
Контактная самостоятельная работа	2	0,4	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		56,6	42,45
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Зачет с оценкой</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	Лекции	Прак. зан.	Сам. работа
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Основные виды и принципы формования материалов и изделий фотоники нано- и микроэлектроники</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>17</b>
1.1	Технологии литья и пластического формования	18	3	6	9
1.2	Прессование	16	3	5	8
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Новейшие методы конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники</b>	<b>37</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>20</b>
2.1	Аддитивные технологии	9,25	1,25	3	5
2.2	Экструзионная печать	9,25	1,25	3	5
2.3	Технологии лазерного спекания (SLS и DMLS) и плавки (SLM)	9,25	1,25	3	5
2.4	3D стереолитография, лазерная стереолитография и ламинирование	9,25	1,25	3	5
<b>3.</b>	<b>Раздел 3. Новейшие материалы для изделий современной фотоники микро- и наноэлектроники.</b>	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>20</b>
3.1	Прозрачные поликристаллические материалы	9,25	1,5	2,75	5
3.2	Наноалмазы	9,25	1,5	2,75	5
3.3	Неуглеродные нанотрубки и другие наноструктуры	9,25	1,5	2,75	5
3.4	Электронные чернила	9,25	1,5	2,75	5
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>57</b>

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Основные виды и принципы формования материалов и изделий фотоники nano- и микроэлектроники**

#### **1.1. Технологии литья и пластического формования**

Основные виды и принципы формования материалов и изделий фотоники nano- и микроэлектроники. Технологии свободного литья, и литья под давлением. Пленочная технология литья. Литье из горячих термопластичных и термореактивных шликеров. Получение материалов методом экструзии, и штамповки.

#### **1.2. Прессование.**

Основные принципы прессования, требования к исходным материалам компонентов фотоники и микроэлектроники, зерновой состав, коэффициент упаковки дополнительные характеристики порошков, приготовление формовочной массы (пресс-порошка).

Классификация и особенности применения современных видов прессования: полусухое одноосное двухстороннее прессование, горячее прессование, гидростатическое прессование, горячее изостатическое прессование, квазиизостатическое прессование искровое плазменное спекание, влияние выбора метода формования на структуру и свойства получаемого изделия.

### **Раздел 2. Новейшие методы конструирования современных материалов и устройств фотоники, nano- и микроэлектроники**

#### **2.1. Аддитивные технологии**

Аддитивные технологии: 3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели.

Аддитивное производство (Additive Manufacturing) – это создание изделий, основанное на поэтапном добавлении материала на основу в виде плоской платформы или осевой заготовки. В самом термине «аддитивность» (от лат. *additivus* – прибавляемый) заложен основной принцип этого процесса. Такой способ изготовления также называют «выращиванием» из-за послойного создания изделия.

Таким образом, суть аддитивного производства – в сложении, а не вычитании. Если при традиционном производстве вначале имеется заготовка, от которой потом отсекается все лишнее, то в случае с аддитивными технологиями новое изделие создается из ничего, а точнее, из расходного материала.

#### **2.2. Экструзионная печать**

Сюда входят такие методы, как послойное наплавление (FDM) и многоструйная печать (MJM). В основе этого метода лежит выдавливание (экструзия) расходного материала с последовательным формированием готового изделия. Как правило, расходные материалы состоят из термопластиков, либо композитных материалов на их основе.

Послойное склеивание, этот подход основывается на соединении порошкового материала в единое целое. Формирование производится разными способами. Наиболее простым является склеивание, как в случае со струйной трехмерной печатью (3DP).

### 2.3. Технологии лазерного спекания

Технологии лазерного спекания (SLS и DMLS) и плавки (SLM), позволяющие создавать цельнометаллические детали. Как и в случае со струйной трехмерной печатью, эти устройства наносят тонкие слои порошка, но материал не склеивается, а спекается или плавится с помощью лазера. Лазерное спекание (SLS) применяется для работы как с пластиковыми, так и с металлическими порошками, хотя металлические гранулы обычно имеют более легкоплавкую оболочку, а после печати дополнительно спекаются в специальных печах. DMLS – вариант SLS установок с более мощными лазерами, позволяющими спекать непосредственно металлические порошки без добавок.

SLM-принтеры предусматривают уже не просто спекание частиц, а их полную плавку, что позволяет создавать монолитные модели, не страдающие от относительной хрупкости, вызываемой пористостью структуры. Как правило, принтеры для работы с металлическими порошками оснащаются вакуумными рабочими камерами, либо замещают воздух инертными газами.

### 2.4. 3D стереолитография, лазерная стереолитография и ламинирование.

Сравнительные преимущества и недостатки, принцип работы и конструкция этих 3D принтеров, получение наноструктурированных материалов для фотоники микро- и наноэлектроники с их использованием.

От других технологий трехмерной печати лазерную стереолитографию отличает использование не порошков, а фотополимеров в жидком состоянии, которые накладываются тонкими слоями. Материал затвердевает под лазерным лучом или ультрафиолетовой лампой, после чего мы получаем готовую 3D-модель. Технология заключается, таким образом, в построении твердого тела в жидкой среде.

Изготовление объектов методом ламинирования (LOM) – технология быстрого прототипирования, разработанная компанией Helisys Inc. Метод подразумевает последовательное склеивание листового материала (бумаги, пластика, металлической фольги) с формированием контура каждого слоя с помощью лазерной резки. Объекты, производимые этим методом, обычно подлежат дополнительной механической обработке после печати. Толщина наносимого слоя напрямую зависит от толщины используемого листового материала.

## **Раздел 3. Новейшие материалы для изделий современной фотоники микро- и наноэлектроники.**

### 3.1. Прозрачные поликристаллические материалы.

Прозрачные поликристаллические материалы. Виды и история возникновения прозрачной керамики, основные факторы, влияющие на прозрачность керамических материалов. Кристаллохимические особенности строения прозрачных поликристаллических материалов. Основные и перспективные способы получения прозрачной керамики. Существующие и перспективные области применения и сравнительная характеристика прозрачных керамических материалов с основными конкурирующими материалами - монокристаллами, стеклами и стеклокристаллическими материалами.

### 3.2 Наноалмазы.

Характеристика кристаллической структуры и свойства наноалмазов (НА).



Основные способы получения наноалмазов, механизм детонационного синтеза наноалмазов и особенности промышленного получения наноалмазов.

Области применения: в настоящее время лидируют три основных направления: ~ 70% используемых НА приходится на финишное полирование, ~ 25% НА используют в гальванике и ~ 5% — в масляных композициях. В ближайшей перспективе чрезвычайно емкими областями применения НА могут стать производства полимер-алмазных композиций, катализаторов с переносом заряда и модифицированных биостойких бетонов.

Металло-алмазные упрочняющие покрытия, антифрикционные упрочняющие смазочные композиции с НА, антифрикционные композиционные материалы, зародыши для выращивания алмазных пленок: наноалмазы используют при получении искусственных CVD алмазных пленок при производстве кремниевых подложек.

Ультрадисперсный наноалмазографит - области применения, состав и структура материала, получение наноалмазографитной шихты. Способы получения наноалмазов, механизм детонационного синтеза наноалмазов и особенности промышленного получения наноалмазов.

### 3.3. Неуглеродные нанотрубки и другие наноструктуры.

История появления и методы формирования неуглеродных нанотрубок. Основные методы синтеза и морфология наноструктурированных оксидов переходных металлов. функциональные свойства и применение неуглеродных нанотрубок

Производные фуллеренов, классификация, структурные особенности, свойства и возможное применение заполненных фуллеренов, фуллереновых аддуктов и гетерофуллеренов.

### 3.4. Электронные чернила.

Технология и принцип работы электронных чернил, полноцветные электронные чернила, E-ink дисплеи с минимальным временем отклика. Преимущества и применение электронных чернил Сравнение с LCD и OLED дисплеями: «Плюсы и минусы» экранов E-Ink по сравнению с LCD/OLED, старение электронной бумаги.

Электронная бумага (Electronic Paper Display) и электронные чернила (Electronic Ink) – это технология по воспроизведению изображений, которая имитирует внешний вид обычных чернил для отображения информации. Первоначальные исследования электронных чернил начались в лаборатории Массачусетского технологического института (MIT Media Lab) в 1996 году. Профессор Джозеф Якобсон назвал разработанные им чернила «E Ink».

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	<b>Знать:</b>			
1	– основные направления в производстве современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;	+	+	+
2	– теоретические основы научных направлений конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;	+	+	+
3	– основные принципы методов исследования материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;	+	+	+
4	– физическую и химическую сущность процессов и явлений, протекающих в материалах и устройствах фотоники, нано- и микроэлектроники, как при их получении так и в ходе эксплуатации.		+	+
	<b>Уметь:</b>			
5	– правильно использовать закономерности для реализации потенциальных возможностей исходных компонентов и оборудования при проектировании и создании современных материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;	+	+	+
6	– применять знания для разработки структуры, закономерностей развития и устойчивости производства компонентов фотоники нано- и микроэлектроники;	+	+	+
7	– планировать и реализовывать исследования материалов фотоники и микроэлектроники, использовать результаты исследований в профессиональной деятельности;		+	+
8	– уметь использовать полученные знания для лучшего усвоения смежных дисциплин специализации на этапе обучения для выбора оптимальных технологических решений в будущей исследовательской работе.		+	+
	<b>Владеть:</b>			
9	– информацией о современных тенденциях развития систем фотоники, нано- и микроэлектроники для создания материалов и устройств с улучшенными физико-техническими характеристиками;	+	+	+
10	– навыками использования знаний о структуре и свойствах современных материалов и особенностях конструирования устройств для фотоники, микро- и наноэлектроники в будущей исследовательской работе		+	+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения</u> :					
	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК			
13	ПК-3 Способен применять современные приборы и методы исследования, планировать, организовывать и проводить эксперименты и испытания, корректно обрабатывать и анализировать полученные результаты	ПК-3.3 Владеет приемами обработки, анализа и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+
14	ПК-4 Способен разрабатывать новые материалы и изделия электроники и наноэлектроники	ПК-4.1 Знает физические принципы работы материалов и изделий электроники и наноэлектроники  ПК-4.2 Умеет подбирать материалы для создания изделий электроники и наноэлектроники с заданными функциональными свойствами -  ПК-4.3 Владеет навыками создания материалов и изделий электроники и наноэлектроники с заданными свойствами		+	+
15	ПК-5 Способен осуществлять комплексный анализ научных основ технологии новых материалов и изделий электроники и наноэлектроники	ПК-5.1 Знает современные требования к функциональным характеристиками материалов и изделий электроники и наноэлектроники  ПК-5.2 Умеет модифицировать имеющиеся материалы для нужд создания новых изделий электроники и наноэлектроники		+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Полусухое прессование	12
2	2	3D-печать или «аддитивное производство»	12
3	3	Прозрачные поликристаллические материалы	10

### 6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума не предусмотрено.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам курса;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче *зачета с оценкой* (1 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов), и итогового контроля в форме *зачета с оценкой* (максимальная оценка 40 баллов).

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 3 контрольных работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы 1,02 и 3 (1 семестр) составляет 20 баллов за каждую.

**Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1.** Максимальная оценка 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

**Вопрос 1.1.**

1. Особенности пленочной технологии литья при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
2. Пластическое формование достоинства и недостатки метода при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
3. Технологии свободного литья при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
4. Литье из горячих термопластичных и термореактивных шликеров.
5. Получение материалов методом экструзии и штамповки.
6. Технологии литья под давлением при производстве современных материалов и фотоники, нано- и микроэлектронки.

#### **Вопрос 1.2.**

1. Влияние выбора метода формования на структуру и свойства получаемого изделия
2. Требования к исходным материалам при прессовании компонентов фотоники и микроэлектроники.
3. Основные принципы прессования современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
4. Зерновой состав, коэффициент упаковки дополнительные характеристики порошков при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
5. Приготовление и свойства формовочной массы (пресс-порошка).
6. Классификация и особенности применения современных видов прессования.
7. Принципы и достоинства полусухого одноосного двухстороннего прессования.
8. Горячее прессование, разновидности, особенности метода.
9. Гидростатическое прессование и горячее изостатическое прессование.
10. Преимущества и недостатки квазиизостатического прессования.
11. Искровое плазменное спекание, особенности метода.
12. Сравнение метода ИПС с традиционными способами получения современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки.

**Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2.** Максимальная оценка 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

#### **Вопрос 2.1.**

1. Классификация аддитивных технологий.
2. Аддитивное производство, отличия от традиционных способов получения материалов.
3. Основные материалы, используемые в аддитивных процессах.
4. Принцип действия аддитивных установок.
5. Области применения аддитивных технологий.
6. Типы 3D-сканеров и сферы их применения

#### **Вопрос 2.2.**

1. Принципы экструзионной печати современных материалов и фотоники, нано- и микроэлектроники.
2. Принцип работы FDM-принтера.
3. Экструдер, устройство и разновидности.
4. Преимущества Fused Deposition Modeling.
5. Расходные материалы экструзионной печати.
6. Принцип действия технологии многоструйной печати.
7. Главные достоинства и недостатки технологии многоструйной печати.
8. Основные области применения технологии многоструйной печати.
9. Расходные материалы многоструйной печати.

### **Вопрос 2.3**

1. Виды технологий лазерного спекания материалов микроэлектроники
2. Сравнительные преимущества и недостатки технологии лазерного спекания.
3. Особенности технологии лазерной плавки SLM.
4. Технологии лазерного спекания (SLS и DMLS).
5. Области применения материалов полученных лазерным спеканием.
6. Области применения материалов полученных лазерной плавкой.

### **Вопрос 2.4**

1. Стереолитография, принцип получения материалов с помощью лазерной стереолитографии
2. Преимущества и особенности технологии лазерной стереолитографии
3. Области применения материалов, полученных с помощью лазерной стереолитографии.
4. Фотостереолитография, принцип работы.
5. Преимущества и недостатки фотостереолитографии.
6. Изготовление объектов методом ламинирования (LOM)
7. Области применения объектов LOM
8. Преимущества и недостатки метода послойного ламинирования.

**Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3.** Максимальная оценка 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

### **Вопрос 3.1.**

1. Требования к исходным материалам при производстве прозрачной керамики
2. Сравнительная характеристика прозрачных керамических материалов с основными конкурирующими материалами - монокристаллами, стеклами и стеклокристаллическими материалами.
3. Виды и история возникновения прозрачной керамики.
4. Основные факторы влияющие на прозрачность керамических материалов.
5. Кристаллохимические особенности строения прозрачных поликристаллических материалов.

6. Основные и перспективные способы получения прозрачной керамики
7. Существующие и перспективные области применения прозрачных поликристаллических материалов.
8. Основные проблемы и трудности получения прозрачных поликристаллических материалов.
9. Влияние качества исходных компонентов на процесс получения прозрачных поликристаллических материалов.
10. Пути удаления пор из структуры прозрачных поликристаллических материалов.
11. Основные этапы технологии изготовления оптически прозрачных керамик.

### **Вопрос 3.2.**

1. Особенности получения наноалмазов детонационным методом.
2. Характеристика кристаллической структуры наноалмазов.
3. Синтетический наноалмаз - новый перспективный материал.
4. Характеристики и свойства наноалмазов.
5. Получение алмазных наночастиц. Основные способы.
6. Промышленный синтез наноалмазов
7. Области применения наноалмазов.
8. Ультрадисперсный наноалмазографит - области применения, состав и структура материала
9. Металло-алмазные упрочняющие покрытия структура и свойства
10. Антифрикционные упрочняющие смазочные композиции с НА

### **Вопрос 3.3.**

1. Неуглеродные наноструктуры, классификация
2. Неуглеродные нанотрубки. История возникновения и виды.
3. Способы получения неуглеродных нанотрубок.
4. Свойства и применение основных видов неуглеродных нанотрубок.
5. Основные виды производных фуллеренов
6. Производные фуллеренов, классификация, структурные особенности.
7. Основные методы синтеза производных фуллеренов
8. Свойства и возможное применение заполненных фуллеренов.
9. Свойства и возможное применение фуллереновых аддуктов
10. Свойства и возможное применение гетерофуллеренов

### **Вопрос 3.4.**

1. Электронная бумага (Electronic Paper Display) и электронные чернила.
2. История создания электронных чернил.
3. Технология E-Ink.
4. Полноцветные электронные чернила.

5. Принцип работы АСeР (электронной бумаги).
6. E-ink дисплеи с минимальным временем отклика
7. Ключевые преимущества электронных чернил над другими видами дисплеев.
8. Применение технологии электронных чернил
9. Плюсы и минусы экранов E Ink по сравнению с LCD/OLED экранами
10. Старение электронной бумаги.

### **8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (1 семестр – зачет с оценкой).**

**Максимальное количество баллов за зачет с оценкой – 40 баллов. Экзаменационный билет содержит 3 вопроса. 1 вопрос – 10 баллов, вопрос 2 и 3 – 15 баллов каждый.**

1. Особенности пленочной технологии литья при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
2. Пластическое формование достоинства и недостатки метода при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
3. Технологии свободного литья при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
4. Литье из горячих термопластичных и термореактивных шликеров.
5. Получение материалов методом экструзии и штамповки.
6. Технологии литья под давлением при производстве современных материалов и фотоники, нано- и микроэлектронки.
7. Влияние выбора метода формования на структуру и свойства получаемого изделия
8. Требования к исходным материалам при прессовании компонентов фотоники и микроэлектроники.
9. Основные принципы прессования современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
10. Зерновой состав, коэффициент упаковки дополнительные характеристики порошков при производстве современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки
11. Приготовление и свойства формовочной массы (пресс-порошка).
12. Классификация и особенности применения современных видов прессования.
13. Принципы и достоинства полусухого одноосного двухстороннего прессования.
14. Горячее прессование, разновидности, особенности метода.
15. Гидростатическое прессование и горячее изостатическое прессование.
16. Преимущества и недостатки квазиизостатического прессования.
17. Искровое плазменное спекание, особенности метода.
18. Сравнение метода ИПС с традиционными способами получения современных материалов фотоники и, нано- и микроэлектронки.
19. Классификация аддитивных технологий.
20. Аддитивное производство, отличия от традиционных способов получения материалов.
21. Основные материалы, используемые в аддитивных процессах.
22. Принцип действия аддитивных установок.
23. Области применения аддитивных технологий.
24. Типы 3D-сканеров и сферы их применения
25. Принципы экструзионной печати современных материалов и фотоники, нано- и



микроэлектронки.

26. Принцип работы FDM-принтера.
27. Экструдер, устройство и разновидности.
28. Преимущества Fused Deposition Modeling.
29. Расходные материалы экструзионной печати.
30. Принцип действия технологии многоструйной печати.
31. Главные достоинства и недостатки технологии многоструйной печати.
32. Основные области применения технологии многоструйной печати.
33. Расходные материалы многоструйной печати.
34. Виды технологий лазерного спекания материалов микроэлектроники
35. Сравнительные преимущества и недостатки технологии лазерного спекания.
36. Особенности технологии лазерной плавки SLM.
37. Технологии лазерного спекания (SLS и DMLS).
38. Области применения материалов полученных лазерным спеканием.
39. Области применения материалов полученных лазерной плавкой.
40. Стереолитография, принцип получения материалов с помощью лазерной стереолитографии
41. Преимущества и особенности технологии лазерной стереолитографии
42. Области применения материалов, полученных с помощью лазерной стереолитографии.
43. Фотостереолитография, принцип работы.
44. Преимущества и недостатки фотостереолитографии.
45. Изготовление объектов методом ламинирования (LOM)
46. Области применения объектов LOM
47. Преимущества и недостатки метода послойного ламинирования.
48. Требования к исходным материалам при производстве прозрачной керамики
49. Сравнительная характеристика прозрачных керамических материалов с основными конкурирующими материалами - монокристаллами, стеклами и стеклокристаллическими материалами.
50. Виды и история возникновения прозрачной керамики.
51. Основные факторы, влияющие на прозрачность керамических материалов.
52. Кристаллохимические особенности строения прозрачных поликристаллических материалов.
53. Основные и перспективные способы получения прозрачной керамики
54. Существующие и перспективные области применения прозрачных поликристаллических материалов.
55. Основные проблемы и трудности получения прозрачных поликристаллических материалов.
56. Влияние качества исходных компонентов на процесс получения прозрачных поликристаллических материалов.
57. Пути удаления пор из структуры прозрачных поликристаллических материалов.
58. Основные этапы технологии изготовления оптически прозрачных керамик.
59. Особенности получения наноалмазов детонационным методом.
60. Характеристика кристаллической структуры наноалмазов.
61. Синтетический наноалмаз - новый перспективный материал.
62. Характеристики и свойства наноалмазов.

63. Получение алмазных наночастиц. Основные способы.
64. Промышленный синтез наноалмазов
65. Области применения наноалмазов.
66. Ультрадисперсный наноалмазографит - области применения, состав и структура материала
67. Металло-алмазные упрочняющие покрытия структура и свойства
68. Антифрикционные упрочняющие смазочные композиции с НА
69. Неуглеродные наноструктуры, классификация
70. Неуглеродные нанотрубки. История возникновения и виды.
71. Способы получения неуглеродных нанотрубок.
72. Свойства и применение основных видов неуглеродных нанотрубок.
73. Основные виды производных фуллеренов
74. Производные фуллеренов, классификация, структурные особенности.
75. Основные методы синтеза производных фуллеренов
76. Свойства и возможное применение заполненных фуллеренов.
77. Свойства и возможное применение фуллереновых аддуктов
78. Свойства и возможное применение гетерофуллеренов
79. Электронная бумага (Electronic Paper Display) и электронные чернила.
80. История создания электронных чернил.
81. Технология E-Ink.
82. Полноцветные электронные чернила.
83. Принцип работы АСeР (электронной бумаги).
84. E-ink дисплеи с минимальным временем отклика
85. Ключевые преимущества электронных чернил над другими видами дисплеев.
86. Применение технологии электронных чернил
87. Плюсы и минусы экранов E Ink по сравнению с LCD/OLED экранами
88. Старение электронной бумаги.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### 8.4. Структура и примеры билетов для зачета с оценкой (1 семестр).

**Зачет с оценкой** проводится в 1 семестре и включает контрольные вопросы по разделам 1, 2 и 3 рабочей программы дисциплины. Билет для **зачета с оценкой** состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **зачета с оценкой**

<p><b>«Утверждаю»</b>  <b>Руководитель</b>  <b>программы</b>          _____ И.Х. Аветисов          (Подпись) (И. О. Фамилия)          «__» _____ 20__ г.</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра Химии и Технологии Кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 – Химическая технология</b>
	<b>Магистерская программа – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Кристаллохимические особенности конструирования современных материалов фотоники, nano- и микроэлектроники</b>
<b>Билет № __</b>	
1. Влияние выбора метода формования на структуру и свойства получаемого изделия 2. Преимущества и недостатки фотостереолитографии 3. Ультрадисперсный nanoалмазграфит - области применения, состав и структура материала	

  

<p><b>«Утверждаю»</b>  <b>Руководитель</b>  <b>программы</b>          _____ И.Х. Аветисов          (Подпись) (И. О. Фамилия)          «__» _____ 20__ г.</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра Химии и Технологии Кристаллов</b>
	<b>Направление подготовки 18.04.01 – Химическая технология</b>
	<b>Магистерская программа – «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»</b>
	<b>Кристаллохимические особенности конструирования современных материалов фотоники, nano- и микроэлектроники</b>
<b>Билет № __</b>	
1 Технологии литья под давлением при производстве современных материалов и фотоники, nano- и микроэлектроники. 2. Технологии лазерного спекания (SLS и DMLS). 3. Существующие и перспективные области применения прозрачных поликристаллических материалов.	

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### *А. Основная литература*

1. Максимов А.И., Мошников В.А., Таиров Ю.М., Шилова О.А. Золь-гель технология микро- и нанокомпозитов: Учебное пособие/ Под ред. ОА Шиловой //СПб.: Издательство «Лань». – 2013. – 304 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/12939/#1>

#### *Б. Дополнительная:*

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М. : "Физматлит", 2009. - 414 с. :
2. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Уткина Е. А.. Нанoeлектроника: учебное пособие /- М. : Бином, 2009. - 223 с
3. Беляков А. В. Методы получения наноразмерных порошков из неорганических неметаллических материалов: учеб. Пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2011. 192 с.
4. Наноматериалы и нанотехнологии/ под ред. В. Е. Борисенко и Н. К. Толочко. Минск: Изд. центр БГУ, 2008. 375 с.
5. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники [Текст] : учебное пособие для вузов / И. П. Степаненко. - 2-е изд. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2000. - 488 с.
6. Беляков А. В., Жариков Е. В., Малыгин А. А. Химические основы нанотехнологии твердофазных материалов различного функционального назначения: учеб. пособие. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006. 103 с.
7. Сергеев Г. Б. Нанохимия: учебное пособие. - М. : КДУ, 2007. - 333 с.

### 9.2 Рекомендуемые источники научно-технической информации

Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.

Научно-технические журналы:

- European Journal of Inorganic Chemistry Print ISSN: 1434-1948, Online ISSN: 1099-0682
- «Перспективные материалы» ISSN PRINT: 2075-1133, ISSN ONLINE: 2075-115X
- Journal of Crystal Growth ISSN 0022-0248
- Crystal Research and Technology Print ISSN: Previously 0232-1300 Online ISSN: 1521-4079
- «Журнал неорганической химии» ISSN (PRINT): 0044-457X
- Journal of Non-Crystalline Solids. ISSN: 0022-3093
- Ресурсы ELSEVIER: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

#### *Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:*

- Сайт о нанотехнологиях в России [Электронный ресурс]: [www.nanoware.ru](http://www.nanoware.ru)
- Нанотехнологическое сообщество [Электронный ресурс]: [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)
- Интернет-журнал о нанотехнологиях. [Электронный ресурс]: [www.nanodigest.ru](http://www.nanodigest.ru)

### 9.3 Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации интерактивных лекций и практических занятий – 18;
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 88).

Для освоения дисциплины используются следующие нормативные и нормативно- методические документы (обновить даты обращения):

– Федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102162745&intelsearch=273-%D4%C7> (дата обращения: 12.04.2023).

– Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования // Координационный совет учебно-методических объединений и научно- методических советов высшей школы. Портал Федеральных образовательных стандартов высшего образования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fgosvo.ru/fgosvo/93/91/5> (дата обращения: 12.04.2023).

– Приказ Министерства образования и науки РФ от 23.08.2017 № 816 «Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102447332&intelsearch=816+%EF%F0%E8%EA%E0%E7> (дата обращения: 12.04.2023).

При освоении дисциплины студенты должны использовать информационные и информационно-образовательные ресурсы следующих порталов и сайтов:

– Система федеральных образовательных порталов. Система открытого образования. Консалтинговый центр ИОС ОО РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.openedu.ru> (дата обращения: 12.04.2023).

– Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». URL: <http://window.edu.ru/> (дата обращения: 12.04.2023).

– ФЭПО: соответствие требованиям ФГОС [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fepo.i-exam.ru/> (дата обращения: 12.04.2023).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам. Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и

сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине **«Кристаллохимические особенности конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники»** проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студентов магистратуры.

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине **«Современные методы характеристики и контроля качества монокристаллических и нано-структурированных материалов и пленочных структур технического и ювелирного назначения»** проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося в магистратуре.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью; библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Модели молекул и кристаллов для демонстрации типов колебаний при составлении колебательного представления в методах спектроскопии КР и ИК.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса; раздаточный материал к практическим занятиям по дисциплине; альбомы и рекламные проспекты с основными видами и характеристиками приборов и материалов электронной техники, фотоники и квантовой электроники.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде по строению и свойствам материалов электронной техники; электронная картотека по рентгенофазовому анализу; электронная картотека по фазовым диаграммам состояния; кафедральные библиотеки электронных изданий.

### **11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Операционная система Microsoft Windows 10 Education (Russian)	Подписка <b>Microsoft Azure Dev Tools for Teaching</b> , соглашение от <b>31.01.2019</b> <b>ИСМ-169788</b> , номер подписки <b>IM91021</b> , действительно до <b>30.01.2021</b> , счет от <b>31.01.2019 № 9552830795</b>	Подписка не подразумевает количества лицензий	<b>30.01.2021</b>
2	Microsoft Visio Professional 2019 (Russian)	Подписка <b>Microsoft Azure Dev Tools for Teaching</b> , соглашение от <b>31.01.2019</b> <b>ИСМ-169788</b> , номер подписки <b>IM91021</b> , действительно до <b>30.01.2021</b> , счет от <b>31.01.2019 № 9552830795</b>	Подписка не подразумевает количества лицензий	<b>30.01.2021</b>

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1 Основные виды и принципы формования материалов и изделий фотоники нано- и микроэлектроники	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные направления в производстве современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– теоретические основы научных направлений конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– основные принципы методов исследования материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– физическую и химическую сущность процессов и явлений, протекающих в материалах и устройствах фотоники, нано- и микроэлектроники, как при их получении так и в ходе эксплуатации.</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правильно использовать закономерности для реализации потенциальных возможностей исходных компонентов и оборудования при проектировании и создании современных материалов</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка Зачет с оценкой (1 семестр)</p>

	<p>фотоники, нано- и микроэлектроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять знания для разработки структуры, закономерностей развития и устойчивости производства компонентов фотоники нано- и микроэлектроники;</li> <li>– планировать и реализовывать исследования материалов фотоники и микроэлектроники, использовать результаты исследований в профессиональной деятельности;</li> <li>– уметь использовать полученные знания для лучшего усвоения смежных дисциплин специализации на этапе обучения для выбора оптимальных технологических решений в будущей исследовательской работе.</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– информацией о современных тенденциях развития систем фотоники, нано- и микроэлектроники для создания материалов и устройств с улучшенными физико-техническими характеристиками;</li> <li>– навыками использования знаний о структуре и свойствах современных материалов и особенностях конструирования устройств для фотоники, микро- и наноэлектроники в будущей исследовательской работе</li> </ul>	
<p>Раздел 2. Новейшие методы конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники</p>	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные направления в производстве современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– теоретические основы научных направлений конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– основные принципы методов исследования материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– физическую и химическую сущность процессов и явлений, протекающих в материалах и устройствах фотоники, нано- и микроэлектроники, как при их получении так и в ходе эксплуатации.</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правильно использовать закономерности для реализации потенциальных возможностей исходных компонентов и оборудования при проектировании и создании современных материалов</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка Зачет с оценкой (1 семестр)</p>



	<p>фотоники, нано- и микроэлектроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять знания для разработки структуры, закономерностей развития и устойчивости производства компонентов фотоники нано- и микроэлектроники;</li> <li>– планировать и реализовывать исследования материалов фотоники и микроэлектроники, использовать результаты исследований в профессиональной деятельности;</li> <li>– уметь использовать полученные знания для лучшего усвоения смежных дисциплин специализации на этапе обучения для выбора оптимальных технологических решений в будущей исследовательской работе.</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– информацией о современных тенденциях развития систем фотоники, нано- и микроэлектроники для создания материалов и устройств с улучшенными физико-техническими характеристиками;</li> <li>– навыками использования знаний о структуре и свойствах современных материалов и особенностях конструирования устройств для фотоники, микро- и наноэлектроники в будущей исследовательской работе</li> </ul>	
<p>Раздел 3. Новейшие материалы для изделий современной фотоники микро- и наноэлектроники</p>	<p><b>знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные направления в производстве современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектронки;</li> <li>– теоретические основы научных направлений конструирования современных материалов и устройств фотоники, нано- и микроэлектронки;</li> <li>– основные принципы методов исследования материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;</li> <li>– физическую и химическую сущность процессов и явлений, протекающих в материалах и устройствах фотоники, нано- и микроэлектроники, как при их получении так и в ходе эксплуатации.</li> </ul> <p><b>умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– правильно использовать закономерности для реализации потенциальных возможностей исходных компонентов и оборудования при проектировании и</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (1 семестр)</p> <p>Оценка Зачет с оценкой (1 семестр)</p>

	<p>создании современных материалов фотоники, нано- и микроэлектроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять знания для разработки структуры, закономерностей развития и устойчивости производства компонентов фотоники нано- и микроэлектроники;</li> <li>– планировать и реализовывать исследования материалов фотоники и микроэлектроники, использовать результаты исследований в профессиональной деятельности;</li> </ul> <p><b>владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– информацией о современных тенденциях развития систем фотоники, нано- и микроэлектроники для создания материалов и устройств с улучшенными физико-техническими характеристиками;</li> <li>– навыками использования знаний о структуре и свойствах современных материалов и особенностях конструирования устройств для фотоники, микро- и наноэлектроники в будущей исследовательской работе</li> </ul>	
--	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);
- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Кристаллохимические особенности конструирования современных материалов  
фотоники, нано- и микроэлектроники»**

**основной образовательной программы  
18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа  
«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»**

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.



РХТУ им. Д.И. Менделеева  
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Владелец: Лемешев Дмитрий Олегович  
Проректор по учебной работе,  
Ректорат

Подписан: 24:01:2026 15:23:24