

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева)



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям
РХТУ им. Д.И. Менделеева

Е.В. Хайдуков

«23» января 2025 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
2.2. ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ**

Научная специальность:

2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и
приборов электронной техники

Москва 2025 г.

Общие положения

Программа вступительного испытания по группе научных специальностей 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь разработана с учетом требований к поступающим, определёнными Правилами приема.

Цель проведения экзамена - оценка уровня знаний поступающих в области группы научных специальностей 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь для отбора наиболее подготовленных поступающих для обучения по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Задачей вступительного испытания в аспирантуру является оценка уровня владения специальной дисциплиной, в том числе проверка наличия у поступающего необходимых теоретических и практических знаний по выбранному направлению научного исследования.

Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

Разделы программы

1. Форма проведения вступительного испытания.
2. Язык проведения вступительного испытания.
3. Содержание вступительного испытания.
4. Структурированное по разделам (областям) содержание вступительного испытания.
5. Шкала оценивания для оценивания вступительного испытания.
6. Примерный перечень вопросов для экзамена.
7. Рекомендуемая литература для подготовки к вступительному испытанию.

1. Форма проведения вступительного испытания.

Вступительное испытание проводится в устной форме и включает в себя вопросы по научной специальности.

2. Язык проведения вступительного испытания.

Язык проведения экзамена – русский.

3. Содержание вступительного испытания.

Экзаменационный билет состоит из вопросов по научной специальности.

На подготовку ответа отводится 20 минут.

4. Структурированное по разделам (предметным областям) содержание вступительного испытания.

Раздел 1. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

1. Основы кристаллографии и кристаллооптики.

1.1. Идеальные кристаллы.

- 1.2. Реальные кристаллы.
- 1.3. Прохождение света в кристаллах.
2. Теоретические основы полупроводниковой электроники.
 - 2.1. Зонная теория.
 - 2.2. Статистика носителей заряда в полупроводниках.
3. Полупроводниковые приборы.
 - 3.1. Свойства р-п перехода, гетероперехода.
 - 3.2. Приборы, основанные на р-п переходах.
 - 3.3. Приборы, основанные на других свойствах полупроводников.
4. Другие материалы электроники и приборы на их основе.
 - 4.1. Диэлектрические материалы.
 - 4.2. Магнитные материалы.
 - 4.3. Сверхпроводящие материалы.
5. Взаимодействие света с веществом. Материалы и приборы фотоники.
 - 5.1. Люминесценция, органические и неорганические люминофоры.
 - 5.2. Лазеры.
 - 5.3. Волоконная и нелинейная оптика.
6. Методы исследования материалов электроники и фотоники.
 - 6.1. Исследование состава материалов.
 - 6.2. Исследование структуры материалов.
 - 6.3. Исследование функциональных свойств материалов.
7. Технология и оборудование для получения материалов электроники и фотоники.
 - 7.1. Особо чистые и высокочистые вещества для электроники. Методы очистки.
 - 7.2. Чистые помещения в технологии электроники.
 - 7.3. Вакуумные технологии.
 - 7.4. Фазовые диаграммы как источник информации о методах синтеза материалов.
 - 7.5. Методы и оборудование для выращивания кристаллов.
 - 7.6. Методы и оборудование обработки кристаллов (резка, подготовка поверхности, диффузия примесей).
 - 7.7. Методы и оборудование для получения тонких пленок.

5. Критерии оценки.

Вопросы по научной специальности оцениваются в 70 баллов. Ответы на дополнительные вопросы оцениваются в 30 баллов.

Шкала оценивания

Ответ на вопросы билета	Полное соответствие содержания ответа вопросу в экзаменационном	Соответствие содержания ответа вопросу в экзаменационном билете,	Не полное соответствие содержания ответа вопросу в экзаменационном	Не полное соответствие содержания ответа вопросу в экзаменационном
-------------------------	---	--	--	--

	билете, присутствует ясность, четкость и логика изложения. Поступающий показывает владение понятийным аппаратом, выводы аргументированы, высокий уровень владения материалом, показывает знание смежных вопросов.	присутствует ясность, четкость и логика изложения. Поступающий показывает владение понятийным аппаратом, выводы не полностью аргументированы, высокий уровень владения материалом, показывает знание смежных вопросов.	билете. Поступающий показывает недостаточное владение понятийным аппаратом, выводы частично аргументированы, низкий уровень владения материалом, недостаточно показывает знание смежных вопросов.	билете, отсутствует ясность, четкость и логика изложения. Поступающий показывает слабое владение понятийным аппаратом, выводы не аргументированы, низкий уровень владения материалом, не показывает знание смежных вопросов.
Количество баллов	61-70	46-60	21-45	0-20
Ответ на дополнительные вопросы	Исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, абитуриент демонстрирует глубокие теоретические знания, умение сравнивать и оценивать различные научные подходы, пользоваться современной научной терминологией	Полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленный экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания, умение пользоваться современной научной терминологией.	В целом правильные ответы на вопросы, поставленный экзаменационной комиссией, при этом поступающий недостаточно аргументирует ответы	Демонстрирует непонимание основного содержания теоретического материала, поверхностность и слабую аргументацию суждений или допущены значительные ошибки.
Количество баллов	21-30	11-20	6-10	0-5

6. Примерный перечень вопросов для экзамена (избранные вопросы по специальной дисциплине)

2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

1. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Эффективная масса электрона и дырки. Собственные и примесные полупроводники. Роль донорных и акцепторных примесей.

2. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах. Температурные

зависимости. Распределение Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

3. Поглощение и излучение света в полупроводниках и диэлектриках. Спектры поглощения и фотопроводимости. Прямые и непрямые переходы носителей заряда. Экситоны. Рекомбинация носителей.

4. Механизмы люминесценции. Классификации люминофоров. Механизмы сенсibilизации. Тушение люминесценции. Люминесценция в органических и неорганических люминофорах.

5. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры. Политипизм и полиморфизм.

6. Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем. Диаграммы как источник информации необходимой для выбора и оптимизации метода синтеза материалов с заданным составом и свойствами. Отображение явлений нестехиометрии на диаграммах состояния.

7. Структура твердых тел. Кристаллическая решетка. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Химическая связь. Соотношение ионных радиусов и структура кристаллов. Типы структур кристаллов. Дефекты кристаллов. Упругая кристаллическая деформация. Дислокационный механизм пластического течения.

8. Электропроводность полупроводников. Поведение свободных носителей заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Свободные носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Эффект Ганна.

9. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная заселенность. Методы создания инверсной заселенности. Принцип работы лазера.

10. Трехуровневая и четырехуровневая схемы работы лазера с примерами рабочих тел. Основные части лазера. Возможные потери энергии в лазере. Непрерывные и импульсные лазеры. Оптические затворы. Моды излучения. Перестройка длины волны лазера. Классификация лазеров.

11. Элементарные процессы зародышеобразования и роста кристаллов. Существующие теории роста на атомногладкой и атомношероховатой поверхностях, теории нормального и непрерывного роста.

12. Методы и оборудование для выращивания монокристаллов. Особенности выращивания из расплава оксидных кристаллов. Оптимизация равномерного распределения легирующих примесей в монокристаллах.

13. Оборудование для выращивания кристаллов: высокотемпературные ростовые системы с резистивным и индукционным нагревом; высокотемпературные ростовые системы с контролируемой атмосферой.

14. Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые вещества и материалы, их роль в современной технике. Понятие о чистоте вещества, методы определения и оценка чистоты. Физико-химические основы и методы глубокой очистки веществ. Понятие о коэффициенте разделения.

15. Методы анализа материалов электроники: термические методы, оптическая спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, рентгеноструктурный анализ, методы анализа состава и микропримесей, электронная микроскопия.

16. Органические материалы в электронной технике. Жидкие кристаллы. Классификация и базовые характеристики. Органические электролюминесцентные материалы: синтез, свойства и способы формирования тонкопленочных ОСИД.

17. Определение кристаллографической ориентации полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка и полировка пластин. Химическое травление и химическая полировка германия, кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки.

18. Планарная технология. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных частных случаев диффузии. Практические методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография. Фотошаблоны и их изготовление.

19. Устройство оптоволоконного световода. Основные параметры световода. Спектральная зависимость потерь в световоде. Виды оптоволоконных световодов и области их применения. Световоды среднего ИК-диапазона.

20. Оптоэлектронные приборы. Назначение и области применения. Фотоприемники: фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы, лавинные фотодиоды. Основные параметры и характеристики. Солнечные батареи. Полупроводниковые излучающие структуры. Приборы для систем отображения информации. Оптроны и оптоэлектронные интегральные схемы.

21. Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность. неполярные и полярные диэлектрики. сегнетоэлектрики, пьезо- и пьезоэлектрики. Проводимость диэлектриков и ее физическая природа. Диэлектрические потери и их природа.

22. Гетеропереходы. Контакт металл-проводник. Омический и выпрямляющий переходы Шоттки. Поверхностные состояния. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевой эффект в МДП-структурах.

7. Рекомендуемая литература для подготовки к вступительному испытанию

1. Шаскольская М. П. Кристаллография: учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 376 с.
2. Майер А. А. Физическая химия твердого тела. Кристаллооптика : учебное пособие. - М. : МХТИ, 1984. - 84 с : ил. - Библиогр.: с. 83.
3. Минералогия и кристаллография. Практические вопросы для аудиторных занятий и самостоятельной подготовки [Текст] : учебно-методическое пособие / сост. О. П. Баринаова. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. - 58 с.
4. В. П. Зломанов, И. Х. Аветисов, Е. Н. Можевитина. Физическая химия твердого тела. Р–Т–х диаграммы фазовых равновесий. Учебное пособие, М., РХТУ, 2019, 184 с.
5. В.П. Зломанов Фазовые равновесия. Химия дефектов в кристалле. Учебное пособие, М.: МГУ, 2011, 114с.
6. Аветисов И.Х., Можевитина Е.Н., Петрова О.Б. Построение Р-Т-х диаграмм фазовых равновесий. Задачник. М.: РХТУ, 2014. 68 с.
7. Ковтуненко П.В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами.: учеб-ник для хим.-технол. спец. М.: Высшая школа, 1993. 352 с.
8. Глазачев, А.В. Физические основы электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Глазачев, В.П. Петрович. — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2013. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/45131>. — Загл. с экрана.
9. Петрова О. Б., Степанова И. В. Физическая электроника и электронные приборы. Лабораторный практикум и пособие по решению задач: учеб. пособие . – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020. – 152 с.
10. Василенко О.А. Оптические явления в твердом теле: конспект лекций: Учеб. пособие М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 136 с.
11. Терехов В.А. Задачник по электронным приборам: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2003. – 276 с.
12. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2009. — 480 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/300>.
13. Е.П. Шешин. Вакуумные технологии. Долгопрудный, Издательский дом «Интеллект», 2009 - 504 с.
14. Высокочистые вещества. Коллектив авторов. М., Научный мир, 2018, 996 с.
15. А.Ю. Зиновьев, А.Г. Чередниченко, И.Х. Аветисов Технология органических электролюминесцентных устройств. Технологические процессы. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 64с.

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. Н.Г. Горашенко, О.Б. Петрова, И.В. Степанова. Методы исследования материалов электронной техники и наноматериалов. Лабораторный практикум: учеб. пособие. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 94 с.
19. А. Д. Барканов, Р. И. Аветисов, А. В. Хомяков, И. Х. Аветисов. Технология вакуумных производств. Теоретические основы: учеб. пособие. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2022. – 104 с.
20. А. Д. Барканов, Р. И. Аветисов, А. В. Хомяков, И. Х. Аветисов, И. В. Степанова. Технология вакуумных производств. Вакуумное оборудование: учеб. пособи. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 94 с.
21. М.П. Зыкова, И.В. Степанова, К.А. Субботин, И.Ю. Комендо, А.Э. Волошин, И.Х. Аветисов. Сцинтилляционные материалы для детекторов ионизирующих излучений: учебное пособие. –М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2024.– 156 с.
22. К. И. Рунина, О. Б. Петрова, А. В. Хомяков. Люминесцентная спектроскопия: учеб. пособие. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024. – 136 с.