

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

**Программа вступительных испытаний
по направлению подготовки**

18.04.01 – Химическая технология

Магистерская программа

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

1. Введение

Магистерская программа «Технология функциональных материалов электроники и фотоники» рекомендована для подготовки к вступительным испытаниям выпускников классических университетов, технологических и технических вузов, в основных образовательных программах подготовки которых содержатся дисциплины (модули), рабочие программы аналогичные по наименованию и основному содержанию рабочим программам перечисленных ниже учебных дисциплин, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева по уровню бакалавриата.

«Химическая технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники», «Общая и неорганическая химия», «Физическая химия», «Химическая кинетика и катализ», «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Моделирование химико-технологических процессов», «Физическая химия твердого тела», «Кристаллография», «Кристаллооптика», «Физическая электроника и электронные приборы», «Теория роста кристаллов», «Методы исследования материалов фотоники и электроники», «Физическая химия реального кристалла», «Процессы в газах и в вакууме», «Оборудование производства материалов электроники и наноэлектроники», «Минералогия», «Технология материалов электроники и наноэлектроники».

2. Содержание магистерской программы «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

1. Физическая химия кристаллов. Кристаллография. Понятие элементарной ячейки. Операции симметрии. Сингонии и пространственные группы.

2. Кристаллооптика. Показатель преломления. Анизотропия показателя преломления. Анизотропия показателя преломления. Двойное лучепреломление. Поверхность показателей преломления. Дисперсия показателей преломления. Оптическая индикатриса.

3. Тепловой беспорядок в кристалле. Тепловые дефекты. Концентрация дефектов как функция температуры в однокомпонентных кристаллах. Зависимость концентрации тепловых дефектов от температуры в двухкомпонентных кристаллических соединениях. Экспериментальные методы определения концентрации тепловых дефектов. Сопоставление квазихимических и статистических методов.

4. Беспорядок в кристалле, обусловленный нарушениями стехиометрии. Неизбежность нарушения стехиометрии в кристаллах химических соединений. Нестехиометрия бинарных соединений. Влияние дефектов нестехиометрии на свойства кристаллов. Зависимость концентрации дефектов нестехиометрии от давления и температуры. Отображение нестехиометрии на Т-Х диаграмме. Собственные примеси в особо чистом кристалле стехиометрического состава.

5. Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями. Неизбежность загрязнения кристалла посторонними примесями. Равновесие

дефектов в элементарном кристалле, обусловленных посторонними примесями. Растворы внедрения. Изовалентное и гетеровалентное замещение.

6. Физическая электроника. Элементы зонной теории твердых тел. Зонные схемы проводников, полупроводников и диэлектриков. Статистика равновесных носителей тока. Уровень Ферми. Концентрация носителей тока в собственном полупроводнике. Примесные уровни в кристалле. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и от температуры. Неравновесные носители заряда в полупроводнике. Подвижность. Диффузия и дрейф.

7. Электрические переходы. Образование р-п перехода. Свойства р-п перехода, прямой и обратный токи р-п перехода. механизмы пробоя р-п перехода: лавинный, туннельный, тепловой. Вольтамперная характеристика. Изотипные и анизотипные гетеропереходы. Методы создания р-п перехода. Омические и выпрямляющие контакты.

8. Полупроводниковые приборы. Без р-п перехода (резисторы, фоторезисторы, терморезисторы, простейшие датчики Холла, варисторы). С 1 р-п переходом (диоды, фотодиоды, туннельные диоды, варикапы, стабилитроны, светодиоды, светодиоды с гетеропереходами, солнечные элементы). С 2 р-п переходами (биполярные транзисторы, полевые транзисторы, фототранзисторы). С 3 р-п переходами (тиристоры, фототиристоры). С большим числом р-п переходов (ПЗС-матрицы, интегральные схемы (классификация, пределы интеграции), элементы Пельтье).

9. Электронные явления, обусловленные связанными электронами. Диэлектрические материалы: сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, позисторные материалы, пироэлектрики. Магнитные материалы: ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики. Сверхпроводники: образование куперовских пар, ВТСП, взаимодействие сверхпроводников I и II типа с магнитным полем.

1.1. Электронные процессы в газах

1.1.1. Виды электронной эмиссии.

1.1.2. Электрические разряды в газах.

1.1.3. Газоразрядные и люминесцентные лампы.

1.2. СВЧ техника

1.2.1. Особенности СВЧ-диапазона.

1.2.2. Коаксиальный и объёмный резонаторы

1.2.3. Согласованная нагрузка.

1.2.4. Волновод.

1.2.5. Клистрон.

1.2.6. Лампа бегущей волны.

- 1.2.7. Лампа обратной волны.
- 1.2.8. Магнетрон.
- 1.3. Люминесценция
 - 1.3.1. Механизмы люминесценции.
 - 1.3.2. Механизмы передачи возбуждения.
 - 1.3.3. Модели излучательной рекомбинации.
 - 1.3.4. Кинетика люминесценции.
- 1.4. Лазеры
 - 1.4.1. Спонтанные и вынужденные переходы.
 - 1.4.2. Инверсная заселенность.
 - 1.4.3. Классификация лазеров.
 - 1.4.4. Твердотельные лазеры (на переходных активаторах, на РЗЭ активаторах, на центрах окраски, полупроводниковые лазеры).
 - 1.4.5. Лазеры на красителях.
 - 1.4.6. Газовые лазеры.
 - 1.4.7. Применение лазеров.
- 1.5. Современная электроника и оптоэлектроника.
 - 1.5.1. Волоконный световод.
 - 1.5.2. Многослойные диэлектрические зеркала и полупрозрачные материалы.
 - 1.5.3. Фотоника, оптоэлектроника.
 - 1.5.4. Наноэлектроника.
 - 1.5.5. Спинтроника.
- 2. Рост кристаллов
 - 2.1. Термодинамика кристаллизации.
 - 2.1.1. Равновесная кристаллизация Гиббса и равновесный кристалл Кюри.
 - 2.1.2. Пирамиды, секторы и слои роста.
 - 2.1.3. Ростовые формы.
 - 2.1.4. Потенциальный барьер и критический размер кристаллического зародыша.
 - 2.1.5. Кристаллизационная сила и давление.
 - 2.1.6. Гомогенное зародышеобразование.
 - 2.1.7. Уравнения Гиббса-Томсона для кристаллов.
 - 2.1.8. “Атомарная” шероховатость граней.
 - 2.2. Атомарноструктурные модели и механизмы роста.
 - 2.2.1. Ретикулярная плотность и огранка кристаллов (принцип Бравэ).
 - 2.2.2. Модель Косселя-Странского-Каишева.
 - 2.2.3. Теория П. Х. Хартмана и В. Г. Пердока.
 - 2.2.4. Механизмы роста атомарногладких и атомарношероховатых граней; нормальный и послыйный рост кристаллов.
 - 2.2.5. Дислокационный механизм роста кристаллов В. Бартока, Н. Кабреры и Ф. К. Франка.
 - 2.2.6. Вращение винтовой дислокации.
 - 2.3. Макродинамика кристаллизации.
 - 2.3.1. Коэффициент распределения примесей при росте кристалла.
 - 2.3.2. Концентрационное переохлаждение и морфологическая

- устойчивость плоского фронта кристаллизации.
- 2.3.3. Ячеистый рост.
- 2.3.4. Дендритный рост.
- 2.3.5. Тепло- и массообмен при росте кристаллов.
- 2.3.6. Гравитационная чувствительность кристаллизации и микрогравитация (“невесомость”).
- 2.4. Неравновесная кристаллизация и факторы роста.
 - 2.4.1. Кинетика кристаллизации; скорость зародышеобразования; линейная и объёмная скорости роста.
 - 2.4.2. Явление геометрического отбора граней и кристаллов.
 - 2.4.3. Влияние внешних воздействий (ультразвука, вибрации, электрического, магнитного и гравитационного полей) на кристаллизацию.
- 2.5. Выращивание кристаллов из расплавов.
 - 2.5.1. Энтропия плавления и критерий Джексона.
 - 2.5.2. Теплообмен между кристаллом и расплавом.
 - 2.5.3. Стабильность плоского фронта кристаллизации.
 - 2.5.4. Задача Стефана; нестационарный направленный рост кристалла.
 - 2.5.5. Уравнение Лапласа и капиллярная постоянная.
 - 2.5.6. Выращивание монокристаллов направленной кристаллизацией; влияние кривизны фронта кристаллизации на поперечное распределение примесей в кристалле; эффект грани.
 - 2.5.7. Метод Бриджмена и его модификации.
 - 2.5.8. Метод Чохральского и его разновидности.
 - 2.5.9. Метод Киропулоса.
 - 2.5.10. Выращивание профилированных монокристаллов методом Степанова.
 - 2.5.11. Выращивание монокристаллов в “холодном” контейнере.
 - 2.5.12. Зонная плавка.
 - 2.5.13. Выращивание монокристаллов методом Вернейля.
 - 2.5.14. Виды и происхождение дефектов в кристаллах, выращенных из расплава.
- 2.6. Выращивание кристаллов из растворов.
 - 2.6.1. Метод испарения растворителя.
 - 2.6.2. Метод понижения температуры.
 - 2.6.3. Метод температурного перепада.
 - 2.6.4. Кристаллизация в гелях.
 - 2.6.5. Выращивание монокристаллов в растворе-расплаве;
 - 2.6.6. Выращивание в гидротермальных растворах;
 - 2.6.7. Выращивание монокристаллов из растворов при сверхвысоких температурах и давлениях (на примере выращивания кристаллов алмаза).
 - 2.6.8. Виды и происхождение дефектов в кристаллах, выращенных из растворов.
- 2.7. Выращивание кристаллов из газовой фазы.
 - 2.7.1. Кристаллизация без участия химической реакции.
 - 2.7.2. Транспортные реакции (реакции переноса) в замкнутой и

- проточной системах.
- 2.7.3. Кристаллизация в результате парофазных реакций.
- 2.7.4. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
- 2.8. Рост кристаллов в твёрдой фазе.
 - 2.8.1. Первичная и вторичная рекристаллизация.
 - 2.8.2. Рост тонких слоёв.
- 2.9. Эпитаксия.
 - 3.9.1. Ориентированное нарастание кристаллических веществ.
 - 3.9.2. Гетерогенное зарождение кристаллов.
 - 3.9.3. Основные типы эпитаксии: авто-, гетеро- и хемозэпитаксия.
- 3. Методы исследования и характеристики материалов электроники
 - 3.1. Термические методы анализа.
 - 3.1.1. Термический и дифференциально-термический методы анализа.
 - 3.1.2. Термогравиметрический и дифференциально-термогравиметрический методы анализа.
 - 3.1.3. Оборудование для термографии. Требования к эталонам.
 - 3.1.4. Термогазоволюмометрический анализ.
 - 3.1.5. Термоэлектрометрический анализ.
 - 3.2. Методы исследования структуры материалов.
 - 3.2.1. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ.
 - 3.2.2. Индицирование дифрактограмм.
 - 3.2.3. Закон Веганда
 - 3.2.4. Комбинационное рассеяние света.
 - 3.2.5. Спектроскопия инфракрасного поглощения.
 - 3.3. Оптическая спектроскопия.
 - 4.3.1. Спектры поглощения и пропускания.
 - 4.3.2. Диапазон прозрачности материала.
 - 4.3.3. Спектры люминесценции.
 - 4.3.4. Спектрофотометры, спектрофлюориметры.
 - 4.3.5. ИК-Фурье спектроскопия.
 - 3.4. Элементный анализ.
 - 3.4.1. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ.
 - 3.4.2. Вторичные и обратнорассеянные электроны, характеристическое излучение.
 - 3.4.3. Эмиссионный микроспектральный анализ с лазерным отбором пробы.
 - 3.4.4. Масс-спектрометрический анализ.
 - 3.5. Электронная микроскопия.
 - 3.5.1. Просвечивающая электронная микроскопия.
 - 3.5.2. Сканирующая (растровая) электронная микроскопия.
 - 3.5.3. Туннельная сканирующая микроскопия.
 - 3.5.4. Атомно-силовая микроскопия.
- 4. Технология и оборудование производства материалов электроники и нанoeлектроники
 - 4.1. Исполнительные системы аппаратов для выращивания монокристаллов.
 - 4.1.1. Нагреватели

- 4.1.2. Теплоизолирующие устройства. Тепловые экраны.
- 4.1.3. Контейнеры для выращивания монокристаллов.
- 4.1.4. Смотровые окна.
- 4.1.5. Двери, крышки, замки, шлюзы, конвейеры.
- 4.1.6. Затворы.
- 4.1.7. Токовводы.
- 4.1.8. Узлы охлаждения.
- 4.1.9. Датчики.
- 4.1.10. Дозаторы.
- 4.1.11. Вибраторы

3. Примерное содержание вопросов к вступительным испытаниям по программе «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

Технологические вопросы:

1. Выращивание кристаллов из раствора и его разновидности. Зависимость растворимости от температуры, и выбор метода кристаллизации. Технология выращивания кристаллов KDP.
2. Методы получения кристаллов из газовой фазы. Технология выращивания кристаллов карбида кремния
3. Методы выращивания кристаллов из расплава. Способы нагрева. Дефекты кристаллов, присущие расплавному методам роста. Технология выращивания кристаллов сапфира методом Киропулоса.
4. Технология вакуумного термического напыления пленок бинарных соединений с конгруэнтным характером сублимации.
5. Механизмы роста кристаллов. Послойный и нормальный рост кристаллов. Распределение примесей при росте кристаллов методами направленной кристаллизации.
6. Ионные методы формирования тонких пленок: классификация, достоинства и недостатки. Технология магнетронного напыления пленок соединений A^2B^6 .
7. Классификация методов роста кристаллов (по типу фазовых переходов; по характеру движущей силы). Технология выращивания кристаллов кремния методом Чохральского.
8. Транспортные реакции (реакции переноса) в замкнутой и проточной системах. Технология выращивания монокристаллов соединений A_3B_5 из паровой фазы.
9. Пересыщение и переохлаждение. Способы создания пересыщения. Метастабильное, стабильное и лабильное состояния системы. Технология выращивания монокристаллов иттрий-алюминиевого граната, легированного неодимом

10. Эпитаксия и ее разновидности. Дислокации несоответствия. Методы эпитаксии из газовой фазы.
11. Молекулярно-кинетическая теория разреженных газов. Методы получения и измерения вакуума. Основные типы вакуумных откачных систем. Технология электронно-лучевого напыления многослойных диэлектрических зеркал.
12. Полупроводниковые приборы с одним и двумя p-n переходами. Технология ионной имплантации.
13. Основные свойства и методы создания p-n переходов
14. Концентрационное переохлаждение. Условие отсутствия концентрационного переохлаждения. Ячеистый рост, дендритный рост.
15. Концепция пограничных слоев при росте кристаллов. Виды пограничных слоев (динамический, тепловой и диффузионный) и безразмерные критерии, характеризующие их толщину (критерии Рейнольдса, Пекле, Прандтля и Шмидта).
16. Методы выращивания кристаллов из расплава. Способы нагрева. Дефекты кристаллов, присущие расплавному методу роста. Примеры кристаллов, выращиваемых расплавленными методами.
17. Выращивание кристаллов из раствора и его разновидности. Зависимость растворимости от температуры и выбор метода кристаллизации. Примеры кристаллов, выращиваемых растворными методами.
18. Эпитаксия и ее разновидности. Эпитаксиальная температура. Ограничения эпитаксии. Дислокации несоответствия. Методы эпитаксии из газовой фазы.
19. Классификация методов роста кристаллов (по типу фазовых переходов, приводящих к кристаллизации; по характеру и заданию движущей силы; консервативные и неконсервативные методы).
20. Движущая сила кристаллизации. Пересыщение и переохлаждение. Способы создания пересыщения. Метастабильное, стабильное и лабильное состояния системы.
21. Искусственный ювелирный рубин. Промышленные методы получения, характеристические включения и пороки. Механические деформационные двойники в рубинах, полученных газопламенным методом –механизм формирования.
22. Гидротермальные методы получения искусственных ювелирных камней. Оборудование и оснастка, строение автоклавов и типы обтюраторов. Технология получения ювелирных разностей искусственного кварца- условия гидротермального процесса, активаторы раствора.

Теоретические вопросы

23. Операции симметрии. Кристаллографические системы (сингонии). Точечные группы симметрии.
24. Связь симметрии кристаллов и анизотропии их свойств. Атомные и ионные радиусы.
25. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Плотнейшие упаковки кристаллов. Понятие координационного числа и координационного многогранника.
26. Понятие координационного числа. Плотнейшие упаковки кристаллов.
27. Дефекты реального кристалла. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Концентрация дефектов как функция температуры в однокомпонентных кристаллах
28. Виды электронной эмиссии. Газовые разряды при низком и высоком давлении. Принцип работы ФЭУ.
29. Понятие нестехиометрии. Классификация нестехиометрических фаз. Отображение нестехиометрии на Р-Т-х диаграмме бинарной фазы.
30. Зонные схемы металлов, диэлектриков и полупроводников. Объяснение проводимости материалов с точки зрения зонной теории. Собственные и примесные полупроводники.
31. Правило фаз. Отображение равновесий на Р-Т-х диаграмме. Особенности отображения бинарных нестехиометрических фаз на Т-х проекции и Т-х сечении.
32. Люминесценция. Механизмы люминесценции. Кинетика люминесценции.
33. Преломление и отражение света. Явление Брюстера. Коэффициент отражения и пропускания. Оптические волноводы. Виды световодов. Волоконная связь.
34. Связь оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках и диэлектриках. Поглощение света, отражение света и фотопроводимость.
35. Принцип построения основных оптических поверхностей для кристаллов разных сингоний. Преломление света в кристаллах и стеклах, показатели преломления. Сила двойного лучепреломления. Оптический знак кристалла.
36. Физические основы работы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры.
37. Поляризация диэлектриков. неполярные и полярные диэлектрики. Природа проводимости в диэлектриках.
38. Причины возникновения в кристаллах оптической активности. Эффект Фарадея.

4. Литература

«Технология функциональных материалов электроники и фотоники»

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. М.: КДУ, 2010, 588 с.
2. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А.. Основы кристаллографии. М.: Физматлит, 2006, 498 с.
3. Шаскольская М.П. Кристаллография. М., Высшая школа, 1984.
4. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия. Краткий курс. Изд. МГУ, 2010, 256 с.
5. Глазов В.М., Павлова Л.М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия. М.: Металлургия, 1988, 560 с.
6. Третьяков Ю.Д., Лепис Х. Химия и технология твердофазных материалов. Изд. МГУ, 1985, 256 с.
7. Майер А.А. Физическая химия твердого тела: Кристаллооптика, МХТИ, М., 1984.
8. Ковтуненко П.В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. М. Высшая школа, 1993, 352 с.
9. Построение Р–Т–х диаграмм фазовых равновесий. Задачник: учебное пособие / И. Х. Аветисов, Е.Н. Можевитина, О.Б. Петрова. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. – 64 с.
10. Зломанов В.П. Фазовые равновесия. Химия дефектов в кристалле. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2011, 114с
11. Майер А.А. Процессы роста кристаллов, РХТУ, М., 1999, 176 с.
12. Багдасаров Х.С. Высокотемпературная кристаллизация из расплава, Физматлит, М.2004г.,160с
13. Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А. Тепло- и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией. М.: Физматлит, 2006, 224 с.
14. Терехов В.А. Задачник по электронным приборам: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2003. – 276 с.
15. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 456 с, ил.
16. Холодков И.В., Ефремов А.М., Светцов В.И.. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – ГОУВПО «Иван. гос. хим.-технол. ун-т» - Иваново, 2004. – 195 с.
17. 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.
18. Петрова О. Б., Степанова И. В. Физическая электроника и электронные приборы. Лабораторный практикум и пособие по решению задач: Учебное пособие. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020. – 152 с.
19. Физическая электроника (полупроводники). Решение задач: Учебное пособие. Петрова О.Б. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013 - 44 с.
20. Василенко О.А. Оптические явления в твердом теле: конспект лекций: Учебное пособие М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 136 с.

21. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния. Металлургия, М., 1992, 408с.
22. Борисенко, В. Е. Нанoeлектроника. [Текст]: Учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М.: Бином, 2009. - 223 с.
23. 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>
24. Рябцев Н.Г. Материалы квантовой электроники. М.: Сов. Радио, 1972, 384 с.
25. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. Изд. МИСИС, М., 2007, 432с.
26. 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.
27. Курс лекций «Кристаллография». 03.09.2019 [электронный ресурс] — Режим доступа: <http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/>
28. Матт Янг. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы: Пер. с англ. — М.: Мир, 2005. — 541 с., ил.
29. Основы оптоэлектроники. Под ред. К.М.Галанта. М: Мир, 1988, -288с.
30. Ландсберг Г. С. Оптика: Учеб. пособие для вузов. изд. 6-е — М.: Физматлит, 2010. — 848 с.
31. Белозеров В. В. Современные методы диагностики материалов и изделий из них. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Прус Ю.В. — Ростов н/Д: ЮФУ, 2007. — 224 с.
32. Павличенко, Л.А. Термический анализ двухкомпонентных систем [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Л.А. Павличенко, Г.В. Булидорова, Ю.Г. Галяметдинов. — Электрон. дан. — Казань: КНИТУ, 2013. — 104 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/73440> — Загл. с экрана
33. Васильев Е.К. Качественный рентгенофазовый анализ/под ред. С.Б. Брандта. — Новосибирск: Наука, 1986. — 195 с.
34. Методы исследования материалов электронной техники и наноматериалов. Лабораторный практикум: учеб. пособие / Н.Г. Горащенко, О.Б. Петрова, И.В. Степанова. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. — 94 с.
35. Альмяшев В.И., Гусаров В.В. Термические методы анализа: Учебное пособие/ А 57 СПбГЭТУ (ЛЭТИ) — СПб., 1999. — 40 с.