

**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)

**Программа вступительных испытаний в магистратуру  
по направлению  
18.04.01 Химическая технология**

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

Москва 2024

Разработчики программы:

- руководитель магистерской программы, заведующий кафедрой химии и технологии кристаллов, д.х.н., проф. И. Х. Аветисов
- профессор кафедры химии и технологии кристаллов, д.х.н., проф. О. Б. Петрова

## **1. Введение**

Программа вступительных испытаний предназначена для лиц, желающих поступить в магистратуру ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева» по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология (магистерская программа: «Технология функциональных материалов электроники и фотоники»). Программа разработана в соответствии с Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 6 апреля 2021 года № 245. Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников бакалавриата и специалитета классических университетов, технических и технологических вузов. Содержание программы базируется на следующих учебных дисциплинах: «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 нанoeлектроники», «Минералогия», «Технология материалов электроники и нанoeлектроники» и других специальных учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева в рамках направления подготовки 18.03.01 Химическая технология.

## **2. Содержание программы**

### **1. Физическая химия кристаллов**

#### **1.1. Кристаллография.**

1.1.1. Понятие элементарной ячейки.

1.1.2. Операции симметрии.

1.1.3. Сингонии и пространственные группы.

#### **1.2. Кристаллооптика.**

1.2.1. Показатель преломления

1.2.2. Анизотропия показателя преломления.

- 1.2.3. Двойное лучепреломление.
- 1.2.4. Поверхность показателей преломления.
- 1.2.5. Дисперсия показателей преломления.
- 1.2.6. Оптическая индикатриса.
- 1.3. Тепловой беспорядок в кристалле. Тепловые дефекты.
  - 1.3.1. Концентрация дефектов как функция температуры в однокомпонентных кристаллах.
  - 1.3.2. Зависимость концентрации тепловых дефектов от температуры в двухкомпонентных кристаллических соединениях.
  - 1.3.3. Экспериментальные методы определения концентрации тепловых дефектов.
  - 1.3.4. Сопоставление квазихимических и статистических методов.
- 1.4. Беспорядок в кристалле, обусловленный нарушениями стехиометрии.
  - 1.4.1. Неизбежность нарушения стехиометрии в кристаллах химических соединений.
  - 1.4.2. Нестехиометрия бинарных соединений.
  - 1.4.3. Влияние дефектов нестехиометрии на свойства кристаллов.
  - 1.4.4. Зависимость концентрации дефектов нестехиометрии от давления и температуры.
  - 1.4.5. Отображение нестехиометрии на Т-Х диаграмме.
  - 1.4.5. Собственные примеси в особо чистом кристалле стехиометрического состава.
- 1.5. Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями.
  - 1.5.1. Неизбежность загрязнения кристалла посторонними примесями.
  - 1.5.2. Равновесие дефектов в элементарном кристалле, обусловленных посторонними примесями.
  - 1.5.3. Растворы внедрения.
  - 1.5.4. Изовалентное и гетеровалентное замещение.
- 2. Физическая электроника**
  - 2.1. Элементы зонной теории твердых тел
    - 2.1.1. Зонные схемы проводников, полупроводников и диэлектриков.
    - 2.1.2. Статистика равновесных носителей тока.
    - 2.1.3. Уровень Ферми.
    - 2.1.4. Концентрация носителей тока в собственном полупроводнике.
    - 2.1.5. Примесные уровни в кристалле.
    - 2.1.6. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации приме- сей и от температуры.
    - 2.1.7. Неравновесные носители заряда в полупроводнике.
    - 2.1.8. Подвижность. Диффузия и дрейф.
  - 2.2. Электрические переходы.
    - 2.2.1. Образование р-n перехода.

- 2.2.2. Свойства р-п перехода, прямой и обратный токи р-п перехода. механизмы пробоя р-п перехода: лавинный, туннельный, тепло- вой. Вольтамперная характеристика.
- 2.2.3. Изотипные и анизотипные гетеропереходы.
- 2.3.4. Методы создания р-п перехода.
- 2.3.5. Омические и выпрямляющие контакты.
- 2.3. Полупроводниковые приборы
  - 2.3.1. Без р-п перехода (резисторы, фоторезисторы, терморезисторы, простейшие датчики Холла, варисторы).
  - 2.3.2. С 1 р-п переходом (диоды, фотодиоды, туннельные диоды, варикапы, стабилитроны, светодиоды, светодиоды с гетеропереходами, солнечные элементы).
  - 2.3.3. С 2 р-п переходами (биполярные транзисторы, полевые транзисторы, фототранзисторы).
  - 2.3.4. С 3 р-п переходами (тиристоры, фототиристоры).
  - 2.3.5. С большим числом р-п переходов (ПЗС-матрицы, интегральные схемы (классификация, пределы интеграции), элементы Пельтье).
- 2.4. Электронные явления, обусловленные связанными электронами.
  - 2.4.1. Диэлектрические материалы: сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, позисторные материалы, пироэлектрики
  - 2.4.2. Магнитные материалы: ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики
  - 2.4.3. Сверхпроводники: образование куперовских пар, ВТСП, взаимодействие сверхпроводников I и II типа с магнитным полем
- 2.5. Электронные процессы в газах
  - 2.5.1. Виды электронной эмиссии
  - 2.5.2. Электрические разряды в газах.
  - 2.5.3. Газоразрядные и люминесцентные лампы.
- 2.6. СВЧ техника
  - 2.6.1. Особенности СВЧ-диапазона.
  - 2.6.2. Коаксиальный и объёмный резонаторы
  - 2.6.3. Согласованная нагрузка.
  - 2.6.4. Волновод.
  - 2.6.5. Клистрон.
  - 2.6.6. Лампа бегущей волны.
  - 2.6.7. Лампа обратной волны.
  - 2.6.8. Магнетрон.
- 2.7. Люминесценция
  - 2.7.1. Механизмы люминесценции.
  - 2.7.2. Механизмы передачи возбуждения.
  - 2.7.3. Модели излучательной рекомбинации.
  - 2.7.4. Кинетика люминесценции.

- 2.8. Лазеры
  - 2.8.1. Спонтанные и вынужденные переходы.
  - 2.8.2. Инверсная заселенность.
  - 2.8.3. Классификация лазеров.
  - 2.8.4. Твердотельные лазеры (на переходных активаторах, на РЗЭ активаторах, на центрах окраски, полупроводниковые лазеры).
  - 2.8.5. Лазеры на красителях.
  - 2.8.6. Газовые лазеры.
  - 2.8.7. Применение лазеров.
- 2.9. Современная электроника и оптоэлектроника.
  - 2.9.1. Волоконный световод.
  - 2.9.2. Многослойные диэлектрические зеркала и полупрозрачные материалы.
  - 2.9.3. Фотоника, оптоэлектроника.
  - 2.9.4. Наноэлектроника
  - 2.9.5. Спинтроника.

### **3. Рост кристаллов**

- 3.1. Термодинамика кристаллизации.
  - 3.1.1. Равновесная кристаллизация Гиббса и равновесный кристалл Кюри.
  - 3.1.2. Пирамиды, секторы и слои роста.
  - 3.1.3. Ростовые формы.
  - 3.1.4. Потенциальный барьер и критический размер кристаллического зародыша.
  - 3.1.5. Кристаллизационная сила и давление.
  - 3.1.6. Гомогенное зародышеобразование.
  - 3.1.7. Уравнения Гиббса-Томсона для кристаллов.
  - 3.1.8. “Атомарная” шероховатость граней.
- 3.2. Атомарноструктурные модели и механизмы роста.
  - 3.2.1. Ретикулярная плотность и огранка кристаллов (принцип Бравэ).
  - 3.2.2. Модель Косселя-Странского-Каишева.
  - 3.2.3. Теория П. Х. Хартмана и В. Г. Пердока.
  - 3.2.3. Механизмы роста атомарногладких и атомарношероховатых граней; нормальный и послойный рост кристаллов.
  - 3.2.4. Дислокационный механизм роста кристаллов В. Бартока, Н. Кабреры и Ф. К. Франка.
  - 3.2.5. Вращение винтовой дислокации.
- 3.3. Макродинамика кристаллизации.
  - 3.3.1. Коэффициент распределения примесей при росте кристалла.
  - 3.3.2. Концентрационное переохлаждение и морфологическая устойчивость плоского фронта кристаллизации.
  - 3.3.3. Ячеистый рост.
  - 3.3.4. Дендритный рост.

- 3.3.5. Тепло- и массообмен при росте кристаллов.
- 3.3.6. Гравитационная чувствительность кристаллизации и микрогравитация (“невесомость”).
- 3.4. Неравновесная кристаллизация и факторы роста.
  - 3.4.1. Кинетика кристаллизации; скорость зародышеобразования; линейная и объёмная скорости роста.
  - 3.4.2. Явление геометрического отбора граней и кристаллов.
  - 3.4.3. Влияние внешних воздействий (ультразвука, вибрации, электрического, магнитного и гравитационного полей) на кристаллизацию.
- 3.5. Выращивание кристаллов из расплавов.
  - 3.5.1. Энтропия плавления и критерий Джексона.
  - 3.5.2. Теплообмен между кристаллом и расплавом.
  - 3.5.3. Стабильность плоского фронта кристаллизации.
  - 3.5.4. Задача Стефана; нестационарный направленный рост кристалла.
  - 3.5.5. Уравнение Лапласа и капиллярная постоянная.
  - 3.5.6. Выращивание монокристаллов направленной кристаллизацией; влияние кривизны фронта кристаллизации на поперечное распределение примесей в кристалле; эффект грани.
  - 3.5.7. Метод Бриджмена и его модификации.
  - 3.5.8. Метод Чохральского и его разновидности.
  - 3.5.9. Метод Киропулоса.
  - 3.5.10. Выращивание профилированных монокристаллов методом Степанова.
  - 3.5.11. Выращивание монокристаллов в “холодном” контейнере.
  - 3.5.12. Зонная плавка.
  - 3.5.13. Выращивание монокристаллов методом Вернейля.
  - 3.5.14. Виды и происхождение дефектов в кристаллах, выращенных из расплава.
- 3.6. Выращивание кристаллов из растворов.
  - 3.6.1. Метод испарения растворителя.
  - 3.6.2. Метод понижения температуры.
  - 3.6.3. Метод температурного перепада.
  - 3.6.4. Кристаллизация в гелях.
  - 3.6.5. Выращивание монокристаллов в растворе-расплаве;
  - 3.6.6. Выращивание в гидротермальных растворах;
  - 3.6.7. Выращивание монокристаллов из растворов при сверхвысоких температурах и давлениях (на примере выращивания кристаллов алмаза).
  - 3.6.8. Виды и происхождение дефектов в кристаллах, выращенных из растворов.
- 3.7. Выращивание кристаллов из газовой фазы.
  - 3.7.1. Кристаллизация без участия химической реакции.

- 3.7.2. Транспортные реакции (реакции переноса) в замкнутой и проточной системах.
- 3.7.3. Кристаллизация в результате парофазных реакций.
- 3.7.4. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
- 3.8. Рост кристаллов в твёрдой фазе.
  - 3.8.1. Первичная и вторичная рекристаллизация.
  - 3.8.2. Рост тонких слоёв.
- 3.9. Эпитаксия.
  - 3.9.1. Ориентированное нарастание кристаллических веществ.
  - 3.9.2. Гетерогенное зарождение кристаллов.
  - 3.9.3. Основные типы эпитаксии: авто-, гетеро- и хемозэпитаксия.
- 4. Методы исследования и характеристики материалов электроники**
  - 4.1. Термические методы анализа.
    - 4.1.1. Термический и дифференциально-термический методы анализа.
    - 4.1.2. Термогравиметрический и дифференциально-термогравиметрический методы анализа.
    - 4.1.3. Оборудование для термографии. Требования к эталонам.
    - 4.1.4. Термогазоволюмометрический анализ.
    - 4.1.5. Термоэлектрометрический анализ.
  - 4.2. Методы исследования структуры материалов.
    - 4.2.1. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ.
    - 4.2.2. Индицирование дифрактограмм.
    - 4.2.3. Закон Веганда
    - 4.2.4. Комбинационное рассеяние света.
    - 4.2.5. Спектроскопия инфракрасного поглощения.
  - 4.3. 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.
  - 4.4. Элементный анализ.
    - 4.4.1. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ.
    - 4.4.2. Вторичные и обратнорассеянные электроны, характеристическое излучение.
    - 4.4.3. Эмиссионный микроспектральный анализ с лазерным отбором пробы.
    - 4.4.4. Масс-спектрометрический анализ.
  - 4.5. Электронная микроскопия.
    - 4.5.1. Просвечивающая электронная микроскопия.
    - 4.5.2. Сканирующая (растровая) электронная микроскопия.
    - 4.5.3. Туннельная сканирующая микроскопия.
    - 4.5.4. Атомно-силовая микроскопия.

## **5. Технология и оборудование производства материалов электроники и наноэлектроники**

5.1. Исполнительные системы аппаратов для выращивания монокристаллов.

5.1.1. Нагреватели

5.1.2. Теплоизолирующие устройства. Тепловые экраны.

5.1.3. Контейнеры для выращивания монокристаллов.

5.1.4. Смотровые окна.

5.1.5. Двери, крышки, замки, шлюзы, конвейеры.

5.1.6. Затворы.

5.1.7. Токовводы.

5.1.8. Узлы охлаждения.

5.1.9. Датчики.

5.1.10. Дозаторы.

5.1.11. Вибраторы

### **3. Примерные вопросы для подготовки к вступительному испытанию**

#### Блок 1. Общие вопросы по профилю

1. Связь симметрии кристаллов и анизотропии их оптических, механических и электрических свойств. Атомные и ионные радиусы.
2. Кристаллооптические методы анализа монокристаллов. Методы определения показателей преломления для изотропных и анизотропных кристаллов.
3. Понятие координационного числа в кристаллической решетке. Типы плотнейших упаковок кристаллов. Взаимосвязь между величиной ионного радиуса и координационным числом.
4. Дефекты реального кристалла. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Концентрация термодинамических дефектов как функция температуры в однокомпонентных кристаллах
5. Понятие нестехиометрии. Классификация нестехиометрических фаз. Отображение нестехиометрии бинарной фазы на Р-Т-х диаграмме.
6. Правило фаз Гиббса. Отображение фазовых равновесий на Р-Т-х диаграмме. Особенности отображения бинарных нестехиометрических фаз на Т-х проекции и Т-х сечении.
7. Основные типы гетерофазных реакций (эвтектические, перитектические, синтектические). Отображение равновесий гетерофазных реакций на Т-х и Р-Т проекциях.



8. Виды электронной эмиссии. Классификация газовых разрядов по давлению и характеристикам электромагнитного поля. Принцип работы фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).
9. Основы рентгеновской дифракции. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ. Индексирование дифрактограмм. Закон Вегарда.
10. Люминесценция. Определение, отличие от других видов свечения. Классификация люминесценции по методу возбуждения. Механизмы люминесценции. Кинетика люминесценции.
11. Молекулярно-кинетическая теория разреженных газов. Критерий Кнудсена для определения режима истечения газов при пониженных давлениях. Методы получения и измерения вакуума.
12. Энергетические зонные диаграммы металлов, диэлектриков и полупроводников. Объяснение проводимости материалов с точки зрения зонной теории. Различия в характеристиках между диэлектриками и полупроводниками. Собственные и примесные полупроводники.
13. Полупроводниковые приборы с одним  $p-n$  переходом. Диоды, фотодиоды, солнечные элементы, светодиоды с гетеропереходами. Области применения каждого из перечисленных полупроводниковых устройств.
14. Преломление и отражение света. Явление Брюстера. Коэффициент отражения и пропускания. Полное внутреннее отражение. Оптические волноводы. Виды световодов. Волоконная связь.
15. Полупроводниковые приборы с двумя  $p-n$  переходами. Биполярные и полевые транзисторы. Полевые транзисторы с встроенным и индуцированным каналом.
16. Принцип построения основных оптических поверхностей для кристаллов различных сингоний. Преломление света в кристаллах и стеклах, показатели преломления. Сила двойного лучепреломления. Оптический знак кристалла.
17. Явление фотопроводимости. Механизмы поглощения света и их взаимосвязь с фотопроводимостью. Типы экситонов. Их роль в явлениях фотопроводимости и люминесценции.
18. Явление сверхпроводимости. Эффект Джозефсона. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Высокотемпературные сверхпроводники. Устойчивость сверхпроводящего состояния к внешним электромагнитным воздействиям.
19. Классификация кристаллографических групп симметрии. Точечные группы симметрии. Принцип Кюри.

20. Полупроводниковые приборы без  $p-n$  переходов. Термо- и тензорезисторы, фоторезисторы, датчики Холла, диоды Ганна. Области применения.
21. Термические методы исследования фазовых равновесий и фундаментальных характеристик твердых тел: варианты термического анализа (ДТА, ДТГ, ДСК, дилатометрия).
22. Классификация диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Взаимосвязь между кристаллографическими особенностями материала и диэлектрическими свойствами. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Пироэлектрики.
23. Ретикулярная плотность и огранка кристаллов. Механизмы роста атомарно-гладких и атомарно-шероховатых граней. Распределение примесей при росте кристаллов методами направленной кристаллизации.
24. Лазерное излучение: основные характеристики. Физические основы работы лазера. Твердотельные лазеры. Модуляция добротности лазера.
25. Магнитные свойства вещества. Ферромагнетики, ферримагнетики, диамагнетики. Магнитомягкие и магнитотвердые вещества. Магнитная жидкость.

Блок 2. Вопросы по технологии по профилю  
Технология технических монокристаллов

1. Методы выращивания кристаллов из раствора. Зависимость растворимости от температуры, выбор метода кристаллизации.
2. Методы выращивания кристаллов из расплава. Способы нагрева. Выбор тигельного материала. Дефекты кристаллов, присущие расплавному методу роста. Технология выращивания кристаллов сапфира методом Киропулоса.
3. Механизмы роста кристаллов. Послойный и нормальный рост кристаллов. Распределение примесей при росте кристаллов методами направленной кристаллизации. Очистка материалов методом направленной кристаллизации.
4. Классификация методов роста кристаллов (по типу фазовых переходов; по характеру движущей силы). Технология выращивания кристаллов кремния методом Чохральского.
5. Теплообмен между кристаллом и расплавом. Стабильность плоского фронта кристаллизации. Метод Бриджмена. Характерные дефекты кристаллов, выращенных методом Бриджмена.

6. Метод Чохральского и его вариации для выращивания кристаллов различных материалов. Характерные дефекты кристаллов, выращенных методом Чохральского.
7. Выращивание кристаллов методом Вернейля. Характерные дефекты кристаллов, выращенных методом Вернейля.
8. Особенности выращивания кристаллов с инконгруэнтным характером плавления методами направленной кристаллизации. Термодинамический критерий оценки возможности выращивания кристаллов с инконгруэнтным характером плавления методами направленной кристаллизации.
9. Пересыщение и переохлаждение и их роль в процессах выращивания кристаллов. Способы создания пересыщения. Метастабильное, стабильное и лабильное состояния термодинамической системы.

Блок 3. Вопросы по технологии по профилю  
Технология гетерофазных пленочных структур

10. Технология вакуумного термического напыления пленок бинарных соединений с конгруэнтным характером сублимации. Метод трех температур.
11. Ионные методы формирования тонких пленок: классификация, достоинства и недостатки. Мишени для магнетронного распыления. Технология магнетронного напыления пленок соединений  $A^2B^6$ .
12. Транспортные реакции (реакции переноса) в замкнутой и проточной системах. Технология выращивания монокристаллов соединений  $A^3B^5$  из паровой фазы.
13. Эпитаксия и ее разновидности. Дислокации несоответствия. Эпитаксия из газовой и жидкой фазы. Характерные виды дефектов при жидкофазной эпитаксии.
14. Классификация методов формирования пленок. Конструктивные особенности вакуумных термических методов напыления пленок. Выбор материалов испарителей.
15. Понятие цвета. Понятие локуса. Реальные и нереальные цвета. Цветовые палитры. Законы Грассмана. Определение координат цветности в цветовом пространстве Международной комиссии по освещению (МКО – C.I.E.).
16. Цифровые палитры цветности. Тенденции расширения цифрового цветового пространства. Современные стандарты цифрового цвета.
17. Литография. Классификация фоторезистов. Способы формирования фоторезистивных слоев. Способы повышения разрешающей способности фотолитографического процесса.

18. Химические методы получения тонких пленок. Метод атомно-послойного осаждения (АПО – ALD). Область применения метода АПО. Основные материалы для получения пленок методом АПО. Базовые характеристики получаемых пленок.
19. Технология монокристаллических подложек для процессов эпитаксии. Ориентированная резка. Шлифовка, полировка. Характеристики монокристаллических пластин для проведения процессов эпитаксии.
20. Жидкие кристаллы. Классификация по методам получения. Классификация по структуре. Основные характеристик жидких кристаллов. Устройство жидкокристаллического дисплея.

Блок 4. Вопросы по технологии по профилю  
Технология ювелирных кристаллов

21. Поэтапная технология изготовления кр-57. Процессы шлифования, строение структурно-нарушенного слоя (СНС), роль смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) в процессе шлифования.
22. Радиационные методы облагораживания. Точечные радиационные дефекты, их устойчивость и вклад в цветообразование ювелирных камней. Сравнение термообработки в восстановительной среде и электронного облучения по кристаллохимическим изменениям в кристаллической решетке ювелирных камней.
23. Химическое крашение как метод модифицирования окраски ювелирных камней. Пигменты: механизм окрашивания пигментными красителями, роль пористости и проницаемости в качестве окрашивания, просветность структуры пористых ювелирных камней
24. Искусственный ювелирный рубин. Промышленные методы получения, характеристические включения и пороки. Механические деформационные двойники в рубинах, полученных газопламенным методом – механизм формирования.
25. Гидротермальные методы получения искусственных ювелирных камней. Оборудование и оснастка, строение автоклавов и типы обтюраторов. Технология получения ювелирных разновидностей искусственного кварца – условия гидротермального процесса, активаторы раствора.

**4. Рекомендованная литература**

1. Шаскольская М.П. Кристаллография. М., Высшая школа, 1984.
2. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. М.: КДУ, 2010, 588 с.
3. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия. Краткий курс. Изд. МГУ,

2010, 256 с.

4. Глазов В.М., Павлова Л.М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия. М.: Металлургия, 1988, 560 с.
5. Третьяков Ю.Д., Лепис Х. Химия и технология твердофазных материалов. Изд. МГУ, 1985, 256 с.
6. Майер А.А. Физическая химия твердого тела: Кристаллооптика, М.:МХТИ, 1984.
7. Ковтуненко П.В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. М. Высшая школа, 1993, 352 с.
8. Зломанов В. П., Аветисов И. Х., Можевитина Е. Н. Физическая химия твердого тела. Р–Т–х диаграммы фазовых равновесий: учеб. пособие. – М.: РХТУ, 2019. 184 с.
9. Зломанов В.П. Фазовые равновесия. Химия дефектов в кристалле. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2011, 114 с.
10. Барканов А.Д., Аветисов Р.И., Хомяков А.В., Аветисов И.Х., Степанова И.В. Технология вакуумных производств. Вакуумное оборудование. М.: РХТУ, 2022. 96 с.
11. Барканов А.Д., Аветисов Р. И., Хомяков А. В., Аветисов И. Х. Технология вакуумных производств. Теоретические основы. М.: РХТУ, 2022. 104 с.
12. Майер А.А. Процессы роста кристаллов, М.:РХТУ, 1999, 176 с.
13. Багдасаров Х.С. Высокотемпературная кристаллизация из расплава, М.:Физматлит, 2004, 160 с.
14. Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А. Тепло- и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией. М.: Физматлит, 2006, 224 с.
15. Терехов В.А. Задачник по электронным приборам: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2003. – 276 с.
16. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 456 с, ил.
17. Холодков И.В., Ефремов А.М., Светцов В.И.. Твердотельная электроника: Учебное пособие. – ГОУВПО «Иван. гос. хим.-технол. ун-т» - Иваново, 2004. – 195 с.
18. 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.
19. Василенко О.А. Оптические явления в твердом теле: конспект лекций: Учеб. пособие М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 136 с.
20. Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния. Металлургия, М.,1992, 408 с.
21. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника. [Текст] : учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : Бинoм, 2009. - 223 с.
22. 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>
23. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. М.: МИСИС, 2007, 432 с.
  24. Леонюк Н.И., Копорулина Е.В., Волкова Е.А., Мальцев В.В. Кристаллография: зарождение, рост и морфология кристаллов : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. М.: Издательство Юрайт, 2018, 152 с.
  25. Курс лекций «Кристаллография». 09.02.2024 [электронный ресурс] — Режим доступа: <http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/>
  26. Матт Янг. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 541 с., ил.
  27. Основы оптоэлектроники. Под ред. К.М.Галанта. М: Мир, 1988, 288 с.
  28. Ландсберг Г. С. Оптика: Учеб. пособие для вузов. изд. 6-е – М. : Физмат- лит, 2010. – 848 с.
  29. 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.
  30. 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
  31. Васильев Е.К. Качественный рентгенофазовый анализ / под ред. С. Б. Брандта. – Новосибирск: Наука, 1986. – 195 с.
  32. 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.
  33. 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.
  34. Альмяшев В. И., Гусаров В. В. Термические методы анализа: учеб. пособие/ А 57 СПбГЭТУ (ЛЭТИ).– СПб.,1999. – 40 с.