

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

\_\_\_\_\_/ Матиев А. Х.  
от « 27 » 04 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

\_\_\_\_\_/ Мальсагов М.Х.  
от « 28 » 04 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.09 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР

\_\_\_\_\_  
( индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля) )

Направление подготовки (магистратура)  
**03.04.02. Физика**

Направленность (профиль подготовки)  
**Физика полупроводников**

Квалификация выпускника  
**магистр**

Форма обучения - очная

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов и структур» является овладение знаниями теоретических основ физико-химического анализа и методов изучения фазовых диаграмм систем в зависимости от природы компонентов и температуры, а также формирование у будущего магистра представлений о наиболее актуальных направлениях исследований в области гетерогенных равновесий многокомпонентных систем для развития науки о материаловедении. Усвоение материала курса важно при выполнении выпускных квалификационных работ.

Задачи изучения дисциплины – приобретение навыков построения диаграмм состояния бинарных и многокомпонентных систем, с целью создания новых полупроводниковых материалов для нужд твердотельной микро-нанoeлектроники.

### 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов» входит в пакет дисциплин блока Б1.В.09, формирующих фундаментальное образование магистров по направлению 03.04.02 Физика. Профиль «Физика полупроводников». В табл. 2.1 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов».

Дисциплина «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов» является основной для изучения дисциплин: «Физики полупроводников», «Физика полупроводниковых приборов» «Наносистемы, Методы получения и свойства», которые читаются параллельно или позже.

В табл. 2.1, 2.2 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «».

| Связь дисциплины с предшествующими дисциплинами и сроки их изучения |                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Таблица 2.1                                                         |                                                                                                          |
|                                                                     | Дисциплины, предшествующие дисциплине «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов» |
| 1                                                                   | Вузовский курс физики                                                                                    |
| 2                                                                   | Вузовский курс физической химии                                                                          |

| Связь дисциплины «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов и структур» |                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Таблица 2.2                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                      |
| Дисциплина                                                                                     | Разделы, знание которых необходимо при изучении дисциплины                                                                                                                                                                           |
| Физика конденсированного состояния                                                             | Основные постулаты и положения квантовой теории; туннельный эффект; строение атома и связь с периодической системой элементов Менделеева; высокотемпературная сверхпроводимость и простейшие устройства на ее основе                 |
| Физические основы вакуума                                                                      | Основы физики вакуума, плазмы и твердого тела; принципы использования физических эффектов в вакууме, плазме и в твердом теле, в приборах и устройствах вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники. |

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

**Таблица 3.1.**

| Код компетенции | Наименование компетенции       | Индикатор достижения компетенции<br>(закрепленный за дисциплиной)                                                                                                                                           | В результате освоения дисциплины обучающийся:                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-6            | Самоорганизация и саморазвитие | ИДК <sub>УК-6.1</sub> Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные), целесообразно их использует.                                                                                | <b>Знает:</b><br><br>содержание процессов самоорганизации и самообразования, их особенностей и технологий реализации, исходя из целей совершенствования профессиональной деятельности;                                                                                     |
|                 |                                | ИДК <sub>УК-6.2</sub> Определяет образовательные потребности и способы совершенствования собственной (в том числе профессиональной) деятельности на основе самооценки;                                      | <b>Умеет:</b><br>планировать цели и устанавливать приоритеты при выборе способов принятия решений с учетом условий, средств, личностных самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности; |
|                 |                                | ИДК <sub>УК-6.3</sub> Выбирает и реализует с использованием инструментов непрерывного образования возможности развития профессиональных компетенций и социальных навыков;                                   | <b>Владеет:</b><br><br>приемами саморегуляции эмоциональных и функциональных состояний при выполнении профессиональной деятельности; технологиями организации процесса самообразования; способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки деятельности.       |
|                 |                                | ИДК <sub>УК-6.4</sub> Выстраивает гибкую профессиональную траекторию с учетом накопленного опыта профессиональной деятельности, динамично изменяющихся требований рынка труда и стратегии личного развития. |                                                                                                                                                                                                                                                                            |

**продолжение Таблица 3.1.**

| Код компетенции | Наименование компетенции | Индикатор достижения компетенции<br>(закрепленный за дисциплиной) | В результате освоения дисциплины обучающийся:         |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ПК-2            | ПК-2 Способность плани-  | ИДК <sub>ПК2.1</sub><br>Имеет навыки владения                     | <b>Знает:</b><br>методы и способы получения особо чи- |

|      |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>ровать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции и вести преподавание по дополнительным общеобразовательным программам</p> | <p>необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в избранной области исследования; владения методикой планирования и разработки научного эксперимента; проведения научного эксперимента; методами моделирования различных физических ситуаций; владения современными прикладными программами для изучения объекта научного исследования; владения методами работы в различных операционных системах, с научными базами данных.</p> <p>ИДК ПК2.2</p> <p>Владеет навыками абстрактно мыслить, анализировать, синтезировать получаемую информацию; навыками делать заключения и выводы; навыками и методами построения физических моделей на основе проведенных исследований и полученной информации.</p> <p>ИДК ПК-2.3 Знает способы организации научных семинаров и конференций, умеет планировать и организовывать научные семинары и конференции.</p> | <p>стных материалов;</p> <p><b>Умеет:</b> работать с современными научными установками по очистке полупроводниковых элементов, получению многокомпонентных полупроводниковых материалов.</p> <p><b>Владеет:</b> навыками проведения физико-химических исследований полупроводниковых материалов;</p>                                                                     |
| ПК-4 | <p>Способность использовать навыки составления и оформления научнотехнической документации, науч. отчетов, обзоров, докладов и статей</p>                    | <p>ИДК ПК-4.1</p> <p>Обладает знаниями о стандартах оформления научно-технической документации, об обозначениях и профессиональных терминах, используемых в инструкциях, чертежах и другой документации.</p> <p>ИДК ПК-4.2 Владеет методами разработки рабочей проектной и технической</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><b>Знает:</b> Теоретические основы физико-химических методов анализа полупроводниковых материалов;</p> <p><b>Умеет:</b> Ставить задачи и проводить эксперименты по физ-хим анализу различных полупроводниковых объектов;</p> <p><b>Владеет:</b> навыками Дифференциально-термического анализа и построения диаграмм состояния различных полупроводниковых систем.</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.</p> <p>Владеет современными программными средствами подготовки научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.</p> |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

#### 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

| Таблица 4.1                           |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| Виды учебной работы                   | Всего час/зач. ед. |
| <b>Контактная работа (всего)</b>      | <b>64/1,8</b>      |
| Лекции (Л)                            | 32/0,9             |
| Практические занятия (ПЗ)             | 32/0,9             |
| Курсовая работа                       | 1                  |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b> | <b>80/2,6</b>      |
| Подготовка к практическим занятиям    | 80/2,6             |
| Контроль самостоятельной работы       | 2                  |
| Вид отчетности                        | зачет              |
| <b>Общая трудоёмкость</b>             | <b>144/4</b>       |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Таблица 5.1                            |                |                                |            |            |
|----------------------------------------|----------------|--------------------------------|------------|------------|
| РАЗДЕЛЫ (МОДУЛИ) ДИСЦИПЛИНЫ В СЕМЕСТРЕ | Лекции, (часы) | Практические занятия (ПЗ), час | СРС (часы) | Всего, час |
|                                        |                |                                |            |            |

|                                                                              |                                                                                                                       |           |           |          |  |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|----------|--|
| <b>Модуль 1. Методы очистки химических элементов и сплавов</b>               |                                                                                                                       | <b>8</b>  | <b>8</b>  | <b>4</b> |  |
| 1                                                                            | Тема 1.1. Химическая очистка. Метод зонной плавки                                                                     | 2         | 2         |          |  |
| 2                                                                            | Тема 1.2. Метод вакуумной дистилляции. Метод экстракции                                                               | 4         | 4         |          |  |
|                                                                              | Тема 1.3. Метод выпаривания                                                                                           | 2         | 2         |          |  |
| <b>Модуль 2. Построение диаграммы состояния полупроводниковых соединений</b> |                                                                                                                       | <b>24</b> | <b>24</b> |          |  |
| 3                                                                            | Тема 2.1. Дифференциально-термический (ДТА) анализ системы                                                            | 8         | 8         |          |  |
| 4                                                                            | Тема 2.2. Микроструктурный анализ полупроводниковых сплавов и рентгенофазовый анализ (РФА) полупроводниковых сплавов. | 10        | 10        |          |  |
| 5                                                                            | Тема 2.3. Измерение электропроводимости сплавов                                                                       | 6         | 6         |          |  |
| <b>Итого:</b>                                                                |                                                                                                                       | <b>32</b> | <b>32</b> |          |  |

### 5.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

#### Модуль 1. Методы очистки химических элементов и сплавов

Тема 1.1. 1. Химическая очистка. 2. Метод зонной плавки. Вывод законов распределение примесей вдоль кристалла при их выращивании из жидкой фазы и обсуждение факторов, определяющих предельную очистку материалов. Общие принципы и способы легирования полупроводников.

Тема 1.2. Метод вакуумной дистилляции. Метод экстракции. Технология метода вакуумной дистилляции и экстракции. Вакуумная дистилляция химических элементов на технологической колонке (металлов и переходных элементов).

Тема 1.3. Метод выпаривания. Осаждение путем выпаривания основных химических элементов.

#### Модуль 2. Построение диаграммы состояния полупроводниковых соединений

Тема 2.1. Дифференциально-термический (ДТА) анализ системы. Устройство и принцип работы установки ДТА. Подготовка материалов для проведения ДТА. Расшифровка термограмм.

Тема 2.2. Микроструктурный анализ полупроводниковых сплавов и рентгенофазовый анализ (РФА) полупроводниковых сплавов Снятие рентгенограмм при проведении рентгено-фазового анализа сплавов. Построение диаграмм по принципу состав-свойства.

Тема 2.3. Измерение электропроводимости сплавов Подготовка образцов исследуемых сплавов для измерения их удельной электропроводности с целью подтверждения границ существования твердых растворов при построении диаграммы состояния.

### 5.2. Лекционные занятия

| Таблица 5.1 |              |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| № п/п       | Номер лекции | Наименование раздела и темы дисциплины                                                                                                                                                                                                                   |
| 1           | 1            | Химическая очистка. Метод зонной плавки. Вывод законов распределение примесей вдоль кристалла при их выращивании из жидкой фазы и обсуждение факторов, определяющих предельную очистку материалов. Общие принципы и способы легирования полупроводников. |
| 2           | 2-3          | Метод вакуумной дистилляции. Метод экстракции. Технология метода вакуумной дистилляции и экстракции. Вакуумная дистилляция химических элементов на технологической колонке (металлов и                                                                   |

|                  |       |                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  |       | переходных элементов).                                                                                                                                                                                                             |
| 3                | 4     | Метод выпаривания. Осаждение путем выпаривания основных химических элементов.                                                                                                                                                      |
| 4                | 5-8   | Дифференциально-термический (ДТА) анализ системы. Устройство и принцип работы установки ДТА. Подготовка материалов для проведения ДТА. Расшифровка термограмм.                                                                     |
| 5                | 9-13  | Микроструктурный анализ полупроводниковых сплавов и рентгенофазовый анализ (РФА) полупроводниковых сплавов Снятие рентгенограмм при проведении рентгено-фазового анализа сплавов. Построение диаграмм по принципу состав-свойства. |
|                  | 14-16 | Измерение электропроводимости сплавов.                                                                                                                                                                                             |
| <b>Итого: 32</b> |       |                                                                                                                                                                                                                                    |

### 5.3. Практические занятия

| Таблица 5.2      |      |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| №                | Часы | Наименование тем                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1                | 2    | Химическая очистка. Метод зонной плавки. Вывод законов распределение примесей вдоль кристалла при их выращивании из жидкой фазы и обсуждение факторов, определяющих предельную очистку материалов. Общие принципы и способы легирования полупроводников. |
| 2                | 2    | Метод вакуумной дистилляции. Метод экстракции. Технология метода вакуумной дистилляции и экстракции. Вакуумная дистилляция химических элементов на технологической колонке (металлов и переходных элементов).                                            |
| 3                | 2    | Метод выпаривания. Осаждение путем выпаривания основных химических элементов.                                                                                                                                                                            |
| 4                | 4    | Дифференциально-термический (ДТА) анализ системы. Устройство и принцип работы установки ДТА. Подготовка материалов для проведения ДТА. Расшифровка термограмм.                                                                                           |
|                  | 4    | Микроструктурный анализ полупроводниковых сплавов и рентгенофазовый анализ (РФА) полупроводниковых сплавов Снятие рентгенограмм при проведении рентгено-фазового анализа сплавов. Построение диаграмм по принципу состав-свойства.                       |
| 5                | 2    | Измерение электропроводимости сплавов.                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Итого: 16</b> |      |                                                                                                                                                                                                                                                          |

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации курса «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов» используются: Технологии: концентрированного обучения, модульного обучения, развития личности и развивающего обучения, дифференцированного обучения. Формы: лекции и практические занятия. Занятия проводятся в виде лекций с использование современных технических средств обучения (персонального компьютера и проектора) с демонстрацией практической работы программных продуктов, а также практические занятия с применением наглядного материала в виде реальных образцов (по возможности).

Применение информационных технологий позволяет:

- наполнить занятия новым содержанием;
  - повысить мотивацию к обучению;
  - развивать творческое восприятие окружающего мира;
  - развивать интеллектуальные ресурсы учащихся;
  - формировать элементы информационной культуры; Методы и цели: традиционные и активные (групповые и индивидуальные); три основные цели для успешного проведения урока с компьютерной поддержкой:
  - Дидактическая (под дидактическим обеспечением понимаются учебные материалы).
  - Организационная (эта задача состоит в том, чтобы выработать и закрепить у учащихся навыки работы с учебной программой, организовать работу, избегая перегрузки учащихся и нерациональной траты времени).
- А.Х. Матиев. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов  
Учебное пособие. Магас. - 2024.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Некоторые темы выносятся на самостоятельное изучение. Изучение этих вопросов возможно с использованием электронный курс дисциплины, написанного самим автором (А.Х Матиев).

Целью самостоятельной работы магистранта является самостоятельное приобретение новых знаний и выработка способности к постоянному самообучению и самосовершенствованию в профессиональной и социально-общественных сферах деятельности.

Видом итогового контроля по дисциплине является сдача курсовой работы и зачета по теоретическому курсу. При подготовке к сдаче зачета по лекционному курсу необходимо в первую очередь воспользоваться курсом лекций по данной дисциплине. Теоретический курс поделен на два модуля. В первом модуле изложены различные методы очистки химических элементов и сплавов. Во втором модуле изложены методы построения диаграммы состояния полупроводниковых соединений. При изучении первого модуля нужно обратить внимание на перечень всех технологических процессов, с помощью которых можно формировать среду для подготовки и проведения очистки химических элементов и сплавов различными методами. Немаловажное значение имеет знание технологического оборудования. Изучение второго модуля требует знание принципа работы установки ДТА и различных методов построения диаграммы состав-свойства полупроводниковых соединений. Необходимо четко знать требования к среде для создания устройства или прибора, – обратить внимание на повышение эксплуатационной устойчивости приборов. Всегда держать в поле зрения тенденции развития технологий как формирования среды, так и приборов на ее основе. Самоконтроль усвоенных знаний можно провести по вопросам, приведенным в конце учебного пособия.

Перечень тем, выносимый для самостоятельной работы представлен в таблице 7.1.

### **7.1. План самостоятельной работы студентов**

|                    |
|--------------------|
| <b>Таблица 7.1</b> |
|--------------------|

| №<br>нед. | Тема                                                                                                                                                                                                          | Вид<br>самостоятель-<br>ной<br>работы | Задание | Рекомендуе-<br>мая литерату-<br>ра | Количество<br>часов |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------|------------------------------------|---------------------|
| 1         | Вывод законов распределение примесей вдоль кристалла при их выращивании из жидкой фазы и обсуждение факторов, определяющих предельную очистку материалов.                                                     | Написание конспекта                   | изучить | Электронный курс (А.Х Матиев).     | 4                   |
| 2         | Метод вакуумной дистилляции. Метод экстракции. Технология метода вакуумной дистилляции и экстракции. Вакуумная дистилляция химических элементов на технологической колонке (металлов и переходных элементов). | Написание конспекта                   | изучить | Электронный курс (А.Х Матиев).     | 4                   |
| 3         | Построение диаграмм по принципу состав-свойства.                                                                                                                                                              | Написание конспекта                   | изучить | Электронный курс (А.Х Матиев).     | 4                   |

## 7.2. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

### 7.1. Примерный перечень вопросов, выносимых на зачет

1. В чем заключается принципиальное отличие зонной перекристаллизации германия и кремния?
2. В каких случаях при очистке целесообразно использовать направленную кристаллизацию, а в каких зонную плавку?
3. Какой метод очистки сопровождается выращиванием монокристаллов методом Чохральского?
4. Почему при формировании областей  $p$ -типа в кремниевых планарных приборах в качестве диффундирующей примеси используется бор, хотя галлий и алюминий имеют более высокие коэффициенты диффузии?
5. Коэффициент распределения цинка в кремнии  $K = 1 \cdot 10^{-5}$ . Оценить скорость направленной кристаллизации, при которой эффективный коэффициент распределения будет не выше  $1 \cdot 10^{-2}$ , если диффузионная длина  $\delta = 150$  мкм, и коэффициент диффузии  $D = 1 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с.
6. Оценить, как изменится коэффициент распределения примеси, если скорость кристаллизации увеличить в 2 раза и в 10 раз?
7. Определить, какая часть кремниевого слитка может быть использована как материал класса В4 при его очистке направленной кристаллизацией от примесей, имеющих эффективный коэффициент распределения  $K = 1 \cdot 10^{-3}$ , если их исходная концентрация  $c_0 = 0,05\%$ .
8. Определить, от каких примесей (с каким  $K_{\text{эфф}}$ ) будет проходить очистка германиевого стержня при направленной кристаллизации, если ее проводить со скоростью 15 мм/ч. Принять  $D = 1 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с,  $\delta = 100$  мкм.
9. Равновесный коэффициент распределения индия в кремнии  $K = 1 \cdot 10^{-4}$ . Как изменится эта величина, если направленную кристаллизацию проводить со скоростью 0,01, 0,1 мм/ч. Принять  $D = 1 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с,  $\delta = 60$  мкм.

10. Исходное содержание примесей в кристалле кремния массой 1 кг составляет  $2 \cdot 10^{-2}$  г. Какая часть кристаллического стержня диаметром 27 мм может быть очищена зонной перекристаллизацией при одноразовом проходе зоной с  $l = 1$  см до концентрации примесей не выше  $1 \cdot 10^{-5}\%$ , если  $K_{эфф} = 1 \cdot 10^{-3}$ .
11. Сформулируете основные условия полной взаимной растворимости компонентов при образовании твердых растворов на основе бинарных полупроводников.
12. Какое количество сурьмы необходимо для выращивания кристалла германия  $n$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho = 0,01$  Ом·м из расплава массой  $m = 4$  кг в предположении равномерного распределения примеси по объему кристалла. Коэффициент распределения сурьмы между жидкой и твердой фазами  $K = 1 \cdot 10^{-3}$ , плотность расплава  $d = 5600$  кг/м<sup>3</sup>, подвижность электронов  $\mu = 0,38$  м<sup>2</sup>/В·с.
13. Определить количество бора необходимое для выращивания кристалл германия  $p$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho = 0,05$  Ом·м из расплава массой  $m = 1$  кг в предположении равномерного распределения примеси по объему кристалла. Коэффициент распределения сурьмы между жидкой и твердой фазами  $K = 20$ , плотность расплава  $d = 5600$  кг/м<sup>3</sup>, подвижность дырок  $\mu = 0,19$  м<sup>2</sup>/В·с.
14. Оценить удельное сопротивление при 300 К кремния легированного сурьмой, если в 1 кг материала содержится 22 мг сурьмы, подвижность электронов  $0,19$  м<sup>2</sup>/В·с. Примесь распределена равномерно.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### а) Основная литература

1. А.Х. Матиев. Учебное пособие. Магас. -2024. 133 с.
2. Краткий курс физической химии. В. А. Киреев. М. 1970г.: Издательство «Химия».
3. А.К Аносов Физико-химический практикум по физике твердого тела. М.: Физ-хим 1984г
4. Физико-химический практикум. Под ред. В.И. Ивероновой, М.: Физ-мат, 1976. 2ч.
5. Введение в термографию. Л. Г. Берг. М.:1961г. АН СССР.
6. Введение в химию полупроводников. Я.А.Угай. М.1995г.

#### б) дополнительная литература:

7. Д. В. Сивухин. Курс общей физики. Издательство «Наука», М., 2004 .т.1-5.
8. Р. Фейман, Р.Лейтон, М. Сэндс. Феймановски лекции по физике. Мир, 1965-1967, вып. 1-9
9. Ч.Китель, У.Найт, М.Рудернман, Э.Парсел, Рейф Ф.Крауфорд. 17 Берклеевский курс физики. М., Наука, 1971-1974. т. 1
10. Д. Ориер. Физика. М., 1981, т. 1-2. 7.2.

#### 11. в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

12. Интернет-ресурсы Электронные ресурсы 1. [http://www.ph4S.ru/buk\\_ph\\_pluprovodnik.html](http://www.ph4S.ru/buk_ph_pluprovodnik.html)
13. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics.htm> 3. <http://mat.net.ua/mat/index-fizika.htm>
4. [http://ph4s.ru/books\\_phys.htm](http://ph4s.ru/books_phys.htm).
14. <http://e.lanbook.ru> – электронная библиотечная система «Лань» и др.

### Интернет-ресурсы

| Название ресурса                                                                           | Ссылка/доступ                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам»                     | <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>                                                   |
| «Образовательный ресурс России»                                                            | <a href="http://school-collection.edu.ru">http://school-collection.edu.ru</a>                             |
| Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, ВУЗы, тесты ЕГЭ, ГИА | <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>                                                         |
| Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)                           | <a href="http://fcior.edu.ru">http://fcior.edu.ru</a>                                                     |
| Русская виртуальная библиотека                                                             | <a href="http://rvb.ru">http://rvb.ru</a>                                                                 |
| Еженедельник науки и образования Юга России «Академия»                                     | <a href="http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm">http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm</a> |
| Научная электронная библиотека «e-Library»                                                 | <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                             |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks                                                   | <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>                                         |
| Электронно-справочная система документов в сфере образования «Информиио»                   | <a href="http://www.informio.ru">http://www.informio.ru</a>                                               |
| Информационно-правовая система «Гарант»                                                    | Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГУ                                    |
| Электронно-библиотечная система «Юрайт»                                                    | <a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a>                                   |

### Программное обеспечение

1. Microsoft Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10
2. Microsoft Windows server 2003, 2008, 2012, 2016
3. Microsoft Office 2007, 2010, 2016
4. Информационно-правовая система «Гарант» Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГУ
5. Справочно-правовая система «Гарант»
15. 6. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
7. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.
8. Программный продукт «Антивирус Касперского».
9. Программный продукт FineReader 7.0 Professional Edition.
10. Программный продукт MATLAB 6.

### . Материально-техническое обеспечение

|                                                                             |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов и структур | 386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г.Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а» .<br>Ауд. №303.<br>Площадь 71.6 м <sup>2</sup> | <b>Аудитория № 303.</b><br>Специализированная учебная мебель для обучающихся и преподавателя; технические средства обучения (компьютерная техника, доска, мультимедийное оборудование: интерактивная доска, проектор); доступ к информационно-телекоммуникационной сети Интернет; учебно-методические материалы.    |
|                                                                             | 386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г.Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а» .<br>Ауд. №05.<br>Площадь 34.1 м <sup>2</sup>  | <b>Аудитория № 05</b><br>Специализированная учебная мебель для обучающихся и преподавателя; технические средства обучения (ноутбук, доска); обеспечен доступ к информационно-телекоммуникационной сети Интернет; учебно-методические материалы. Комплект учебно-лабораторного оборудования «Физика полупроводников» |
|                                                                             | 386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г.Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а»<br>Ауд. №116.<br>Площадь 36, м <sup>2</sup>    | <b>Для самостоятельной работы обучающихся. Аудитория № 116:</b> рабочие места для обучающихся, технические средства обучения (ноутбук, доска), доступ к сети Интернет, учебно-методические материалы, электронные образовательные ресурсы.                                                                          |

Рабочая программа дисциплины «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (магистратура) 03.04.02. Физика. Направленность (*профиль подготовки Физика полупроводников*), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» 08 2021 г. № 914.

Программу составил: профессор кафедры «Физика» Матиев А.Х.

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»  
Протокол № 11 от «27» апреля 2026 года.

Программа одобрена Учебно-методической комиссией физико-математического факультета  
Протокол № 6 от «28» апреля 2026 года.

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений**

| Учебный год | Решение кафедры<br>(№ протокола, дата) | Внесенные изменения                                                                                                  | Подпись зав. кафедрой |
|-------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 2026-2027г. | № 11 от «27» апреля 2026 года.         | Фонд оценочных средств указан как приложение.<br>Прописаны индикаторы достижение компетенции (Знать, уметь, владеть) |                       |