

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 « 12 » 03 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

_____/Кульбужев Б. С.
от « 14 » 03 2025 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.ОД.3, 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 (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся:
УК-6	Самоорганизация и саморазвитие	ИДК _{УК-6.1} Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные), целесообразно их использует.	Знает: содержание процессов самоорганизации и самообразования, их особенностей и технологий реализации, исходя из целей совершенствования профессиональной деятельности; Умеет: 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; Владеет: приемами саморегуляции эмоциональных и функциональных состояний при выполнении профессиональной деятельности; технологиями организации процесса самообразования; способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки деятельности.
		ИДК _{УК-6.2} Определяет образовательные потребности и способы совершенствования собственной (в том числе профессиональной) деятельности на основе самооценки;	
		ИДК _{УК-6.3} Выбирает и реализует с использованием инструментов непрерывного образования возможности развития профессиональных компетенций и социальных навыков;	
		ИДК _{УК-6.4} 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 (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся:
ПК-1	Научно-исследовательская деятельность	ИДК _{ПК1.1} самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в об-	Знает: методы и способы получения особо чистых материалов; Умеет: работать с современными науч-

		<p>ласти теоретической и экспериментальной физики; подбирать математический аппарат и самостоятельно решать различные задачи научных исследований, используя стандартные алгоритмы решения; объяснять (выявлять и строить) типичные модели решения поставленной задачи исследования; оценивать изменения в выбранной области исследования в связи с новыми данными, полученными из различных источников</p>	<p>ными установками по очистке полупроводниковых элементов, получению многокомпонентных полупроводниковых материалов.</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками проведения физико-химических исследований полупроводниковых материалов;</p>
<i>ПК-4</i>	<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 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>	<p>Знает:</p> <p>Теоретические основы физико-химических методов анализа полупроводниковых материалов;</p> <p>Умеет:</p> <p>Ставить задачи и проводить эксперименты по физ-хим анализу различных полупроводниковых объектов;</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками Дифференциально-термического анализа и построения диаграмм состояния различных полупроводниковых систем.</p>

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

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

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1					
РАЗДЕЛЫ (МОДУЛИ) ДИСЦИПЛИНЫ В СЕМЕСТРЕ		Лекции, (часы)	Практические занятия (ПЗ), час	СРС (часы)	Всего, час
Модуль 1. Методы очистки химических элементов и сплавов		8	8	4	
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		
Модуль 2. Построение диаграммы состояния полупроводниковых соединений		24	24		
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		
	Итого:	32	32		

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 распределения 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 распределения 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.
Итого: 32		

5.3. Практические занятия

Таблица 5.2		
№	Часы	Наименование тем
1	2	Химическая очистка. Метод зонной плавки. Вывод законов распределения 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.
Итого: 16		

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 электронного курса 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

Таблица 7.1					
№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Вывод законов распределения 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 сопровождает выращивание 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 $D = 1 \cdot 10^{-5}$ см²/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 $D = 1 \cdot 10^{-5}$ см²/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 $D = 1 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$, $\delta = 60 \text{ мкм}$.
10. Исходное содержание примесей в кристалле кремния массой 1 кг составляет $2 \cdot 10^{-2} \text{ г}$. Какая часть кристаллического стержня диаметром 27 мм может быть очищена зонной перекристаллизацией при одноразовом проходе зоной с $l = 1 \text{ см}$ до концентрации примесей не выше $1 \cdot 10^{-5}\%$, если $K_{\text{эфф}} = 1 \cdot 10^{-3}$.
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 $\rho = 0,01 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ из расплава массой $m = 4 \text{ кг}$ в предположении равномерного распределения примеси по объему кристалла. Коэффициент распределения сурьмы между жидкой и твердой фазами $K = 1 \cdot 10^{-3}$, плотность расплава $d = 5600 \text{ кг/м}^3$, подвижность электронов $\mu = 0,38 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
13. Определить количество бора необходимое для выращивания кристалл германия p -типа с удельным сопротивлением $\rho = 0,05 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ из расплава массой $m = 1 \text{ кг}$ в предположении равномерного распределения примеси по объему кристалла. Коэффициент распределения сурьмы между жидкой и твердой фазами $K = 20$, плотность расплава $d = 5600 \text{ кг/м}^3$, подвижность дырок $\mu = 0,19 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
14. Оценить удельное сопротивление при 300 К кремния легированного сурьмой, если в 1 кг материала содержится 22 мг сурьмы, подвижность электронов $0,19 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. 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. Феймановский 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

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.
14. <http://e.lanbook.ru> – электронная библиотечная система «Лань» и др.

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 № 8 от « 11 » марта 2025 года

Программа одобрена Учебно-методическим советом физико-математического факультета
Протокол № 7 от « 13 » марта 2025 года