



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра общей и экспериментальной физики**



**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета

\_\_\_\_\_ / Н.М. Буднев

“02” апреля 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины **Б1.В.03 Физическая химия материалов**

Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

Направленность (профиль) подготовки **Электроника и нанoeлектроника**

Квалификация выпускника **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 49 от «26» апреля 2025 г.

**Председатель:** д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_ Н.М. Буднев

**Рекомендовано кафедрой:**  
**общей и экспериментальной физики**  
Протокол № 5  
от «21» февраля 2025 г.

**Зав. кафедрой** д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_ А.А. Гаврилюк

Иркутск 2025 г.

Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО</b> .....	3
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины</b> .....	4
<b>IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)</b> .....	5
<b>4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов</b> .....	5
<b>4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине</b> .....	6
<b>4.3. Содержание учебного материала</b> .....	7
<b>4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ</b> .....	9
<b>4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)</b> .....	9
<b>4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов</b> .....	10
<b>4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)</b> .....	11
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	12
а) <i>перечень литературы</i> .....	12
б) <i>список авторских методических разработок</i> .....	12
в) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	13
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	13
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации</b> .....	14

## **I. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ФГОС по направлению **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника** и предназначена для обеспечения курса «Физическая химия материалов», изучаемого студентами в течение шестого семестра.

**Целью** преподавания курса «Физическая химия материалов» является формирование фундаментальных знаний в области физико-химических процессов разработки материалов электронной техники и их применение для решения практических задач в области технологии получения материалов электронной техники.

Для достижения данной цели были поставлены **задачи**:

- обучение студентов по всем разделам физической химии;
- овладение фундаментальными понятиями, законами и их следствиями, применяемыми в физической химии;
- овладение навыками в проведении физико-химических экспериментов;
- выработка у студентов навыков самостоятельной учебной деятельности, развитие у них интереса к дальнейшей познавательной деятельности;
- стремление студентов к изучению и применению новых компьютерных технологий.

Кроме того, целью и задачами преподавания дисциплины являются ознакомление студентов с российскими национальными и международными стандартами в области физической химии материалов и процессов электронной техники.

## **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Приоритетом современного образования является интеграция науки и образования. Такой подход обеспечивает будущему специалисту дополнительные знания и исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям после получения базового образования. Организация учебного процесса при изучении курса «Физическая химия материалов» соотносится с целями образования на современном этапе, а изучение некоторых разделов тесно связано с тематикой научных исследований базового института кафедры – Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Курс относится к базовой части профессионального цикла Б1.В.03. Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении курсов «Общая физика», «Высшая математика», «Математический анализ», «Физика полупроводников», «Квантовая механика», иностранного языка. Знания, полученные студентами после изучения дисциплины, используются далее при изучении дисциплин: «Физика конденсированного состояния», «Методы исследования материалов и структур», «Технология материалов электронной техники», «Процессы микро- и нанотехнологии», «Физика полупроводников». Общая трудоемкость дисциплины – 3 зачетные единицы.

### III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника:

Способен анализировать современное состояние методов и технологий модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ПК-1)

Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта. (ПК-4):

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1	1.1 Анализирует современное состояние методов измерений материалов электроники и микроэлектроники. 1.2 Разрабатывает технологии модификации свойств наноматериалов и наноструктур	<b>Знает:</b> основные физико-химические закономерности, определяющие свойства материалов электронной техники; термодинамический и кинетический методы анализа и их применение при получении материалов и компонентов твердотельной электроники; основные положения физической химии фаз переменного состава и ее применение для управления составом и свойствами материалов электронной техники. <b>Умеет:</b> проводить термодинамические и кинетические расчеты условий получения материалов электронной техники с заданными свойствами; проводить анализ фазовых равновесий на основе T-x и P-T-x диаграмм состояния полупроводниковых систем для выбора условий проведения процессов получения, очистки и легирования полупроводниковых материалов. <b>Владет:</b> методами физико-химического анализа материалов и процессов электронной техники. Современными информационными технологиями с целью получения анализа и интерпретации необходимой научной информации
ПК-4	4.1 Проводит научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований 4.2. Владет современной приборной базой (в том числе сложным физическим оборудованием) и информационными технологиями.	<b>Знает:</b> категории (типы), виды стандартов и их особенности; виды измерений, средства измерений, погрешности; процедуры и нормативные акты для оценки характеристик модифицированных наноматериалов и наноструктур на каждом технологическом шаге. <b>Умеет:</b> рассчитывать параметры и характеристики, моделировать и проектировать, внедрять и осуществлять контроль приборов и устройств микроэлектроники. <b>Владет:</b> основными этапами сертификации систем обеспечения качества; порядком и правилами подтверждения соответствия продукции.

#### IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа, в том числе 85 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 38 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачет.

#### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
				Лекции	практические	Консультации		
1	<u>I. ВВЕДЕНИЕ</u>	6	25	8	8		9	Опрос
2	<u>II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТИПОМ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗАХ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА</u>	6	49	12	12		25	Опрос
3	<u>III. ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ, ДИ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ</u>	6	61	18	18		25	Опрос
	зачет	6	9					Тестирование
	<b>Итого часов</b>		<b>144</b>	<b>38</b>	<b>38</b>		59	

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	Разделы 1	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	В течение семестра	9	Опрос	[1-3]
6	Раздел2	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	После завершения лекций по данному разделу	25	Опрос	[1-3]
6	Раздел3	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	В конце семестра	25	Опрос	[1-3]
6	<b>Подготовка к зачёту</b>	Работа с лекционным материалом и учебной литературой	К концу семестра		Тест	[1-3]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				59		

## **4.3. Содержание учебного материала**

### **I. ВВЕДЕНИЕ**

#### **Тема 1. Кристаллографическая характеристика фаз.**

Кристаллы и аморфные тела. Внутренняя структура кристаллов. Виды связей между частицами в кристаллах: ионная, ковалентная, металлическая, молекулярная. Прочность химических связей. Теплота сублимации. Длина связи. Энергия связи. Коэффициент сжимаемости и линейного расширения. Температура плавления. Механические параметры. Направленность и насыщенность химических связей.

#### **Тема 2. Электронное строение атомов.**

Уравнение Шредингера. Квантовые числа. Периодический закон и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Распределение электронов по орбиталям. Принцип Паули, правило Хунда. Координационное число и плотность упаковки. Образование энергетических зон в кристаллах. Зонные диаграммы металлов, полупроводников и диэлектриков. Энергетические зоны валентных электронов. Плотность состояний. Уровень Ферми. Зоны Бриллюэна.

### **II. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТИПОМ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗАХ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА**

#### **Тема 3. Методы описания кристаллических структур.**

Элементарная ячейка, кристаллографические плоскости и направления. Индексы Миллера. Идеальные и реальные кристаллы.

#### **Тема 4. Дефекты кристаллической структуры:**

Точечные дефекты: Дефекты Шоттки, дефекты Френкеля. Миграция точечных дефектов. Антиструктурные дефекты. Ассоциации точечных дефектов (комплексы). Источники образования точечных дефектов. Влияние точечных дефектов на свойства материалов. Дислокации (Вектор Бюргера. Типы дислокаций. Упругая энергия для дислокаций). Критерий Франка. Барьеры Пайерлса. Закон Шмидта. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Источники зарождения дислокаций. Двухмерные и трехмерные несовершенства: Внутрифазные и межфазные границы. Макро- и микронапряжения.

#### **Тема 5. Примеси в полупроводниках и диэлектриках**

Неизовалентные и изовалентные легирующие примеси, фоновые примеси. Влияние дефектов структуры на физические, химические и электрические свойства монокристаллических полупроводников. Легирование полупроводников с использованием ядерных реакций и ионных пучков.

#### **Тема 6. Диффузия в материалах твердотельной электроники.**

Движущие силы и разновидности процессов диффузии. Количественные закономерности диффузии (законы диффузии). Возможные атомные механизмы диффузии. Основные параметры диффузии и методы их определения (Уравнение Аррениуса, энергия активации диффузии). Влияние структурных несовершенств на скорость и параметры диффузии (граничная и поверхностная диффузия, самодиффузия и гетеродиффузия).

### III. ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

#### Тема 7. Некоторые вопросы термодинамики фазовых равновесий.

Основные определения. Виды термодинамических систем, понятие фазы, соединения и твердые растворы, сплавы). Фазовые равновесия: гетерогенные равновесия, химический потенциал, вариантность системы, равновесный коэффициент распределения, правило фаз Гиббса.

#### Тема 8. Фазовые диаграммы однокомпонентных систем.

Общие сведения. Диаграммы фазовых равновесий в однокомпонентных системах, построенных в координатах P-T и P-T-X. Графическое описание фазовых равновесий: фазовые диаграммы, фазовые превращения первого и второго рода, принцип непрерывности, принцип соответствия. Уравнение Клаузиуса-Клайперона. Энантиотропные и монотропные превращения.

#### Тема 9. T-X диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной растворимостью компонентов.

Правила построения фазовых диаграмм в координатах T-X. Диаграммы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях. Построение и анализ диаграмм с неограниченной растворимостью по данным об изменении термодинамического потенциала. Коэффициент распределения.

#### Тема 10. T-X диаграммы фазовых равновесий двойных систем с ограниченной растворимостью.

Переход от неограниченной растворимости к ограниченной. Диаграммы фазовых равновесий с эвтектическим и перитектическим превращением. Диаграммы фазовых равновесий с химическими соединениями. Отклонения от равновесного состояния. Роль диаграмм фазовых равновесий при выборе условий кристаллизации и термической обработки.

#### Тема 11. T-X диаграммы фазовых равновесий тройных систем

Основные представления, используемые при построении диаграмм фазовых равновесий тройных систем. Тройная диаграмма фазовых равновесий системы с неограниченной растворимостью компонентов.

Тройная диаграмма фазовых равновесий системы с моновариантным (трехфазным) эвтектическим превращением. Тройная диаграмма фазовых равновесий системы, в которой реализуется невариантное (четырефазное) эвтектическое превращение.

#### Тема 12. Кристаллизация полупроводников и диэлектриков из расплавов и растворов

Образование и рост зародышей новой фазы. Представление о механизмах роста кристаллов из расплавов и растворов. Распределение примесей между расплавом (раствором) и растущим кристаллом. Методы выращивания монокристаллов. Выращивание монокристаллов с однородным или заданным распределением примесей. Выращивание совершенных монокристаллов. Эпитаксиальные слои, поликристаллические и аморфные пленки. Механизмы и кинетика формирования слоев пленок.

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование, практических работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	1-3	Кристаллографическая характеристика фаз Электронное строение атомов Методы описания кристаллических структур.	5	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
2.	4-6	Дефекты кристаллической структуры Примеси в полупроводниках и диэлектриках Диффузия в материалах твердотельной электроники	5	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
3.	7,8	Некоторые вопросы термодинамики фазовых равновесий Фазовые диаграммы однокомпонентных систем	5	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
4.	9	Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной растворимостью компонентов	6	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
5.	10	Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с ограниченной растворимостью.	6	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
6.	11.	Т-Х диаграммы фазовых равновесий тройных систем	6	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
7.	12.	Кристаллизация полупроводников и диэлектриков из расплавов и растворов	5	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
	<b>Всего</b>		<b>38</b>		

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Все темы	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, кон-	Вся рекомендуемая литература	12

			спектирование ответов на кон- трольные вопросы		
2.	Все темы	Решение домашних задач	Решить задачу	Вся рекомендуе- мая литература	5
3.	Все темы	Закрепление лек- ционного матери- ала для работы на практических заня- тиях	Вопросы для текущего кон- троля	Вся рекомендуе- мая литература	7

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию;
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

##### 1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и др. справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно-методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

##### 2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных литературных источников;
- тестирование и др.;

##### 3. формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;
- подготовка к курсовым работам.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Проводить анализ современного состояния методов и технологий модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ПК-1):

- Анализирует современное состояние методов измерений материалов электроники и нанoeлектроники.
- Разрабатывает технологии модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-4):

- Проводит научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований
- Владеет современной приборной базой (в том числе сложным физическим оборудованием) и информационными технологиями.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**

*Курсовые работы не предусматриваются*

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) перечень литературы

#### Основная литература:

1. Шалаев, А. А. Основы физического материаловедения [Текст] : учеб. пособие : в 2 ч. / А. А. Шалаев ; рец.: В. В. Акимов, А. А. Гаврилюк ; Иркут. гос. ун-т, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т геохимии им. А. П. Виноградова. - Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013 - . - (Методы экспериментальной физики конденсированного состояния). Ч. 1. - 2013. - 159 с. (10 экз.)
2. Шалаев, Алексей Александрович (канд. физ.-мат. наук, снс) Основы физического материаловедения [Текст]: учеб. пособие : в 2 ч. / А. А. Шалаев ; рец.: В. В. Акимов, А. А. Гаврилюк. - Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013 . Ч. 2. - 2014. - 175 с. (10 экз.)
3. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. И. Епифанов. - Москва: Лань, 2011. - 288 с.: ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Библиогр.: с. 282-283. - ISBN 978-5-8114-1001-9 :ББК В37я73
4. Методы выращивания и исследования кристаллических материалов [Текст] : лаб. практикум / Иркут. гос. ун-т, Физ. фак. ; ред. Е. А. Раджабов ; рец. В. В. Акимов. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. - 82 с. (10 экз.)

#### Дополнительная:

1. Технологии материалов для микро- и нанoeлектроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Скоробогатова, Зубрицкий, Петров, Семёнов - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.
2. Егранов А. В. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. В. Егранов. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9624-0884
3. Шендрик, Р. Ю. Введение в физику сцинтилляторов - 1 [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Р. Ю. Шендрик. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9624-0884-2
4. Шаскольская, М. П. Кристаллы [Текст] : научное издание / М. П. Шаскольская. - Перераб. изд. - М. : Наука, 1978. - 207 с.
5. Мюллер, Георг. Выращивание кристаллов из расплава [Текст] : конвекция и неоднородности / Г. Мюллер ; Пер.с англ.А.В.Бунэ;Под ред.В.И.Полежаева. - М. : Мир, 1991. - 149 с. : ил. ; 24см. - ISBN 5030021019 : (в пер.):2.50 р. библиогр.:с.140-144 (206 назв.).-Предм.-имен.указ.:с.145-146.-Перевод изд.:Convection and inhomogeneities in crystal growth from the melt/G.Muller (Berlin etc.).
6. Бутягин, Павел Юрьевич. Химическая физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. для студ., обуч. по напр. 511700 "Химия, физика и механика материалов" / П. Ю. Бутягин. - ЭВК. - М. : Изд-во МГУ, 2006. - 273 с. - Режим доступа: Электронный читальный зал "Библиотех". - 2 доступа. - ISBN 5-211-04970-5
7. Щука, Александр Александрович. Нанoeлектроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направл. подготовки "Прикл. математика и физика" / А. А. Щука. - 2-е изд. - ЭВК. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. - (Нанотехнологии). - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - 15 доступ. - ISBN 978-5-9963-1055-5

### б) список авторских методических разработок

1. Шалаев, А. А. Основы физического материаловедения [Текст] : учеб. пособие : в 2 ч. / А. А. Шалаев ; рец.: В. В. Акимов, А. А. Гаврилюк ; Иркут. гос. ун-т, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т геохимии им. А. П. Виноградова. - Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013 - . - (Методы экспериментальной физики конденсированного состояния). Ч. 1. - 2013. - 159 с. (10 экз.)

2. Шалаев, Алексей Александрович (канд. физ.-мат. наук, снс) Основы физического материаловедения [Текст]: учеб. пособие : в 2 ч. / А. А. Шалаев ; рец.: В. В. Акимов, А. А. Гаврилюк. - Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013 . Ч. 2. - 2014. - 175 с. (10 экз.)
3. Методы выращивания и исследования кристаллических материалов [Текст] : лаб. практикум / Иркут. гос. ун-т, Физ. фак. ; ред. Е. А. Раджабов ; рец. В. В. Акимов. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. - 82 с. (10 экз.)

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- Книгафонд - библиотека онлайн чтения. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)
- ЭЧЗ «БИБЛИОТЕХ» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «РУКОНТ» <http://rucont.ru> Архив научных журналов
- JSTOR <http://www.jstor.org>
- Сайт кафедры экспериментальной физики <http://medphysics-irk.ru>

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в учебной аудитории по расписанию. Лабораторное оборудование не предусмотрено.

На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу.

Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде, в том числе в авторском учебном пособии.

### **6.2. Программное обеспечение:**

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в области астрономии.

## VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в ходе самостоятельного решения задач, в том числе у доски.

## VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Проводится опрос на первом занятии.

### 8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

*Типы контроля успешности освоения программы студентом:*

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация (зачет);

Текущий контроль успеваемости – это проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра.

Промежуточная аттестация (зачет) - это оценка совокупности знаний, умений, навыков по дисциплине в целом или по ее разделам.

К видам контроля относятся:

- устные формы контроля;
- письменные формы контроля;
- контроль с помощью технических средств и информационных систем.

*К традиционным формам контроля относятся:*

- проверка выполнения домашнего задания
- зачет
- тест
- контрольная работа

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта.

**Текущая аттестация** проводится еженедельно. Критерий формирования оценки – посещаемость аудиторных занятий, активность студентов на занятиях, уровень подготовки к семинарам, выполнение домашних работ.

**Промежуточная аттестация (зачет)** проводится в устной форме по билетам, которые содержат одно задание с теоретическими и практическими элементами.

## Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Химические связи. Типы химических связей. Электронное строение атомов. Уравнение Шредингера. Квантовые числа.
2. Периодический закон и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Распределение электронов по орбиталям. Принцип Паули, правило Хунда. Прочность химических связей.
3. Основные определения термодинамики фазовых равновесий (виды термодинамических систем, понятие фазы, соединения и твердые растворы, сплавы, гетерогенные равновесия, химический потенциал, вариантность системы, равновесный коэффициент распределения).
4. Графическое описание фазовых равновесий (фазовые диаграммы, фазовые превращения первого и второго рода, принцип непрерывности, принцип соответствия)
5. Примеры фазовых диаграмм однокомпонентных систем. Правило фаз Гиббса.
6. Правила построения фазовых диаграмм в координатах Т-Х (понятие коноды, правило рычага)
7. Диаграммы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях. Коэффициент распределения.
8. Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с ограниченной растворимостью. Диаграммы фазовых равновесий с эвтектическим и с перитектическим превращением.
9. Фазовые диаграммы тройных систем.
10. Точечные дефекты. Ассоциации точечных дефектов (комплексы). Источники образования точечных дефектов. Влияние точечных дефектов на свойства материалов.
11. Дислокации (Вектор Бюргерса. Типы дислокаций. Упругая энергия для дислокаций)
12. Критерий Франка. Барьеры Пайерлса. Закон Шмидта.
13. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Источники зарождения дислокаций.
14. Двухмерные и трехмерные несовершенства. (Внутрифазные и межфазные границы. Макро- и микронапряжения).
15. Примеси в полупроводниках и диэлектриках (неизовалентные и изовалентные легирующие примеси, фоновые примеси).
16. Движущие силы и разновидности процессов диффузии. Количественные закономерности диффузии (законы диффузии).
17. Возможные атомные механизмы диффузии. Основные параметры диффузии и методы их определения (Уравнение Аррениуса, энергия активации диффузии).
18. Влияние структурных несовершенств на скорость и параметры диффузии (граничная и поверхностная диффузия, самодиффузия и гетеродиффузия).
19. Механизмы роста кристаллов из расплавов и растворов. Образование и рост зародышей новой фазы.
20. Основные методы выращивания монокристаллов.

### При оценке знаний и умений учитывается:

понимание изученного содержания, самостоятельность суждений, степень систематизации и глубины знаний;  
содержание умения и возможность его применения в практической деятельности;  
наличие ошибок, их количество, характер и влияние на качество выполненной работы, временной норматив.

В процессе контроля проверяется сформированность следующих профессиональных компетенций:  
Способен анализировать современное состояние методов и технологий модификации свойств наноматериалов и наноструктур;

Способен проводить научные исследования как самостоятельно, так и в коллективе.

Владеет современными технологиями проведения экспериментальных и теоретических научных исследований с использованием, в том числе, сложного физического оборудования. Умеет пользоваться при проведении научных исследований современными информационными технологиями. Обобщает отечественный и зарубежный опыт проведения научных исследований в своей области исследований.

***Должен знать:***

основные физико–химические закономерности, определяющие свойства материалов электронной техники;

термодинамический и кинетический методы анализа и их применение при получении материалов и компонентов твердотельной электроники;

основные положения физической химии фаз переменного состава и ее применение для управления составом и свойствами материалов электронной техники.

***уметь:***

проводить термодинамические и кинетические расчеты условий получения материалов электронной техники с заданными свойствами;

проводить анализ фазовых равновесий на основе Т–х и Р–Т–х диаграмм состояния полупроводниковых систем для выбора условий проведения процессов получения, очистки и легирования полупроводниковых материалов.

***владеть:***

методами физико-химического анализа материалов и процессов электронной техники.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

**Разработчик:**



к.ф.-м.н., доцент А.А. Шалаев

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

Протокол № 5 от 21.02.2025 г.

Зав. кафедрой



д.ф.-м.н., профессор А.А. Гаврилюк

*Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*