



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Кафедра общей и экспериментальной физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.06 Физическая химия материалов

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника

Тип образовательной программы: академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Материалы и компоненты твердотельной электроники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 25 от « 21 » апреля 2020 г.

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

Рекомендовано кафедрой:  
общей и экспериментальной физики  
Протокол № 6 от  
« 13 » апреля 2020 г.  
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор  
А.А. Гаврилюк

Иркутск 2020 г.

## Содержание

- 1** Цели и задачи дисциплины (модуля)
- 2** Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.
- 3** Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)
- 4** Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы
- 5** Содержание дисциплины (модуля)
  - 5.1** Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)
  - 5.2** Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)
  - 5.3** Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий
- 6** Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.
- 7** Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)
- 8** Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) :
  - а) основная литература;
  - б) дополнительная литература;
  - в) программное обеспечение;
  - г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы
- 9** Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).
- 10** Образовательные технологии
- 11** Оценочные средства. (ОС).
  - 11.1** Оценочные средства
  - 11.2** Оценочные средства текущего контроля
  - 11.3** Оценочные средства для промежуточной аттестации в форме экзамена.

Приложение: фонд оценочных средств

## 1. Цели и задачи дисциплины

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.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

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.06. 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 – 4 зачетных единицы.

### 3. 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 наноэлектроника:

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

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	<p>1.1 Использует в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем достижений физики, электроники и наноэлектроники.</p> <p>1.2 Самостоятельно проводит экспериментальные научные исследования в области электроники и наноэлектроники (в соответствии с профилем подготовки) и решает их с использованием современного оборудования, отечественного и зарубежного опыта</p> <p>1.3 Использует современные информационные технологии с целью получения, анализа и интерпретации необходимой научной информации</p>	<p><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.</p> <p><b>Умеет:</b>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.</p> <p><b>Владет:</b> методами физико-химического анализа материалов и процессов электронной техники. Современными информационными технологиями с целью получения анализа и интерпретации необходимой научной информации</p>
ПК-4	<p>4.1 Знает 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.</p> <p>4.2. Владет навыками и методами расчёта параметров и характеристик, моделирования и проектирования, навыками внедрения и контроля приборов и устройств наноэлектроники.</p> <p>4.3 Знаком с основными этапами сертификации систем обеспечения качества; порядком и правилами подтверждения соответствия продукции.</p>	<p><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.</p> <p><b>Умеет:</b>расчитывать параметры и характеристики, моделировать и проектировать, внедрять и осуществлять контроль приборов и устройств наноэлектроники.</p> <p><b>Владет:</b>основными этапами сертификации систем обеспечения качества; порядком и правилами подтверждения соответствия продукции.</p>

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часов,  
в том числе 76 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. На практическую подготовку отводится 38 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		6	-	-	-
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>			-	-	-
В том числе:	-	-	-	-	-
Лекции	38	38	-	-	-
Практические занятия (ПЗ)	38	38	-	-	-
Коллоквиум	-	-	-	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	-	-
Контроль самостоятельной работы (КСР)	-	-	-	-	-
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	-	-	-
В том числе:	-	-	-	-	-
Курсовой проект (работа)	-	-	-	-	-
Расчетно-графические работы	-	-	-	-	-
Промежуточная аттестация - коллоквиум	-	-	-	-	-
<i>Домашние контрольные работы</i>	-	-	-	-	-
<b>Общая трудоемкость часы</b>	<b>144</b>	<b>144</b>	-	-	-
<b>зачетные единицы</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	-	-	-

## **5. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ**

### **5.1 Содержание разделов и тем дисциплины**

#### **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 орбиталиям. 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 Шотки, дефекты Френкеля. Миграция точечных дефектов. Антиструктурные дефекты. Ассоциации точечных дефектов (комплексы). Источники образования точечных дефектов. Влияние точечных дефектов на свойства материалов. Дислокации (Вектор Бюргерса. 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 система, 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 (четырёхфазное) 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.

**5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

№ п/п	Наименование обеспечиваемых дисциплин	№ тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых дисциплин (вписываются разработчиком)									
		Тема 1	Тема 2	Тема 3	Тема 4	Тема 5	Тема 6				
1.	Физика конденсированного состояния										
2.	Методы исследования материалов и структур										
3.	Технология материалов электронной техники										
4.	Процессы микро- и нанотехнологии										
5.	Физика полупроводников										

### 5.3. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№	Наименование тем	Всего	Виды подготовки		Самостоятельная работа	
			лекции	Практические занятия	Самост. работа студентов	КСР
I	<b>ВВЕДЕНИЕ в дисциплину_ «Физическая химия материалов»</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	
1.	Кристаллографическая характеристика фаз.	10	3	3	4	
2.	Электронное строение атомов.	10	3	3	4	
II	<b>Физико-химические основы управления типом и концентрацией дефектов в кристаллических фазах переменного состава</b>	<b>48</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	
3.	Методы описания кристаллических структур.	12	3	3	6	
4.	Дефекты кристаллической структуры	12	3	3	6	
5.	Примеси в полупроводниках и диэлектриках	12	3	3	6	
6.	Диффузия в материалах твердотельной электроники	12	3	3	6	
III.	<b>Фазовые равновесия в полупроводниковых, диэлектрических и металлических системах</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	
7.	Некоторые вопросы термодинамики фазовых равновесий	12	3	3	6	
8.	Фазовые диаграммы однокомпонентных систем	12	3	3	6	
9.	T-X диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной растворимостью компонентов	12	3	3	6	
10.	T-X диаграммы фазовых равновесий двойных систем с ограниченной растворимостью	12	3	3	6	
11.	T-X диаграммы фазовых равновесий тройных систем	12	3	3	6	
12.	Кристаллизация полупроводников и диэлектриков из расплавов и растворов	12	3	3	6	
	зачет	4	2	2	-	
	<b>Всего</b>	<b>144</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>68</b>	

## 6. 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	Кристаллографическая характеристика фаз	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
2.	2	Электронное строение атомов	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
3.	3	Методы описания кристаллических структур	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
4.	4	Дефекты кристаллической структуры	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
5.	5	Примеси в полупроводниках и диэлектриках	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
6.	6.	Диффузия в материалах твердотельной электроники	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
7.	7.	Некоторые вопросы термодинамики фазовых равновесий	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
8.	8.	Фазовые диаграммы однокомпонентных систем	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
9.	9	T-X диаграммы фазовых равновесий двойных систем с неограниченной растворимостью компонентов	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
10.	10	T-X диаграммы фазовых равновесий двойных систем с ограниченной растворимостью.	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
11.	11.	T-X диаграммы фазовых равновесий тройных систем	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
12.	12.	Кристаллизация полупроводников и диэлектриков из расплавов и растворов	3	Контрольные вопросы	ПК-1, ПК-4
13.		Зачет	2		
	<b>Всего</b>		<b>38</b>		

### 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Кристаллографическая характеристика фаз	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	4
2.	Электронное строение атомов	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	4
3.	Методы описания кристаллических структур	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
4.	Дефекты кристаллической структуры	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
5.	Примеси в полупроводниках и диэлектриках	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
6.	Диффузия в твердотельной электронике	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
7.	Некоторые вопросы термодинамики фазовых равновесий	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
8.	Фазовые диаграммы однокомпонентных систем	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
9.	T-X диаграммы фазовых равновесий	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам,	Вся рекомендуемая литература	6

	двойных систем с неограниченной растворимостью компонентов		вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	литература	
10.	Т-Х диаграммы фазовых равновесий двойных систем с ограниченной растворимостью	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
11.	Т-Х диаграммы фазовых равновесий тройных систем	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6
12.	Кристаллизация полупроводников и диэлектриков из расплавов и растворов	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Вся рекомендуемая литература	6

## 6.2. 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:

Анализировать современное состояние методов и технологий модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ПК-1):

И1.1 Использует в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем достижений физики, электроники и наноэлектроники.

И1.2 Самостоятельно проводит экспериментальные научные исследования в области электроники и наноэлектроники (в соответствии с профилем подготовки) и решает их с использованием современного оборудования, отечественного и зарубежного опыта

И1.3 Использует современные информационные технологии с целью получения, анализа и интерпретации необходимой научной информации

И1.4 Внедрение и контроль качества новых процессов и оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ПК-4):

И4.1 Знает 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.

И4.2. Владеет навыками и методами расчёта параметров и характеристик, моделирования и проектирования, навыками внедрения и контроля приборов и устройств наноэлектроники.

И4.3 Знаком с основными этапами сертификации систем обеспечения качества; порядком и правилами подтверждения соответствия продукции.

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

Курсовые работы не предусматриваются

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

### а) 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.)

### б) дополнительная литература:

1. Технологии материалов для микро- и наноэлектроники [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 скнтилляторов - 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. ; 24 см. - 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. Большаков, Анатолий Федорович. Физико-химические свойства кристаллов [Текст] : уч. пособие для студ. химич. спец. ун-та / А. Ф. Большаков, А. О. Дмитриенко, Н. В. Варламов. - Саратов : Изд. СГУ, 1991. - 108 с.
7. Павлинский, Гелий Вениаминович. Физика рентгеновского излучения [Электронный ресурс] : сб. задач / Г. В. Павлинский ; Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. - Электрон. текстовые дан. - Иркутск : Изд-во НБ ИГУ, 2005. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM); 12 см. - (Труды ученых ИГУ). - Систем. требования: процессор Pentium I и выше; ОЗУ 64 Мб ; операц. система Windows 95/98/2000/XP ; CD-ROM привод ; программа Adobe Acrobat Reader 3.0 и выше ; мышь. - Загл. с этикетки диска. - (в кор.)
8. 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
9. Щука, Александр Александрович. Наноэлектроника [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

10. Филачев, Анатолий Михайлович. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. 200200 "Оптехника", 200600 "Фотоника и оптоинформатика" и оптич. спец. / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Тришенков. - 2-е изд., испр. и доп. - ЭВК. - М. : Физматкнига, 2007. - 384 с. - Режим доступа: Электронный читальный зал "Библиотех". - ISBN 978-5-89155-154-1
11. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть II. Вторичные процессы: Учебное пособие. - М.: Университетская книга, 2010. - 238 с. Режим доступа: ЭБС "Единое окно". - Неогранич. доступ.

сверено с ЭБС ИГУ

*периодические издания*

- нет.

*в) 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.)

*г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

- ЭЧЗ «БИБЛИОТЕХ» [HTTPS://ISU.BIBLIOTECH.RU/](https://isu.bibliotech.ru/)
- ЭБС «ЛАНЬ» [HTTP://E.LANBOOK.COM/](http://e.lanbook.com/)
- ЭБС «РУКОНТ» [HTTP://RUCONT.RU](http://rucont.ru)
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>)

Сайт кафедры экспериментальной физики <http://medphysics-irk.ru>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Курс поддерживается лабораторным практикум по общей физике, включающим в себя ряд стендов по механике, компьютеры для обработки результатов, плакаты. компьютерный класс).

Для проведения занятий лекционного типа в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. 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: переносной проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

## 10. Образовательные технологии

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности бакалавров для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций: на лекционных занятиях – дискуссии, индивидуальное обучение и обучение на основе опыта; на практических занятиях – дискуссия, работа в команде, индивидуальное обучение, обучение на основе опыта, исследовательский метод.

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных и интерактивных технологий;

- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Интернет-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;

- закрепление теоретического материала при проведении практических занятий с использованием демонстрационного и наглядного (графического) материалов, специальной литературы, выполнение индивидуальных заданий.

Занятия проводятся с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Имеется комплект компьютерных презентаций по всем разделам курса (авт. Шалаев А.А).

## 11. Оценочные средства (ОС)

Фонд оценочных средств представлены в Приложении к программе

*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

## Формы промежуточного и итогового контроля.

**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.

### **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:

Анализировать современное состояние методов и технологий модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ПК-1):

И.1 Использует в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем достижений физики, электроники и нанoeлектроники.

И.2 Самостоятельно проводит экспериментальные научные исследования в области электроники и нанoeлектроники (в соответствии с профилем подготовки) и решает их с использованием современного оборудования, отечественного и зарубежного опыта

И.3 Использует современные информационные технологии с целью получения, анализа и интерпретации необходимой научной информации

Внедрение и контроль качества новых процессов и оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур (ПК-4):

И.4.1 Знает 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.

И.4.2. Владеет навыками и методами расчёта параметров и характеристик, моделирования и проектирования, навыками внедрения и контроля приборов и устройств нанoeлектроники.

И.4.3 Знаком с основными этапами сертификации систем обеспечения качества; порядком и правилами подтверждения соответствия продукции.

### **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 T-x и P-T-x 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. Оценочные средства для промежуточной аттестации в форме экзамена. Фонд оценочных средств представлен в приложении.

### Вопросы к экзамену:

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 орбиталиям. 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 Бюргера. 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.

**Разработчик:**



к.ф.-м.н., доцент А.А. Шалаев

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

«13» апреля 2020 г.

Протокол №\_6

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.**