

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б1.О.29 Радиационная физика твердого тела

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Направленность (профиль)

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения

очная

Год набора

2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили \_\_\_\_\_

д.ф.-м.н., Профессор, Панкрац А.И.

должность, инициалы, фамилия

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Рассмотреть основные элементы зонной теории полупроводников. Детально проанализировать статистику электронов и дырок, механизмы проводимости собственных и примесных полупроводников, Вычислить зависимости проводимости примесных полупроводников от температуры и степени легирования в широком температурном интервале. Рассмотреть явления, возникающие при контакте металлов и полупроводников, полупроводников с различным типом проводимости. Получить вольтамперные характеристики p-n перехода. Рассмотреть внешние воздействующие факторы космического пространства и основные механизмы взаимодействия ядерных частиц с веществом. Рассмотреть ионизационные потери ядерных частиц, ядерные потери энергии, пороговые энергии возникновения дефектов в кристаллах и термическую стабильность радиационных изменений кристаллов. Рассмотреть основы использования радиационных методов в технологических целях.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

Изучившие курс должны иметь достаточно полное представление о кристаллических свойствах твердых тел, их зонной структуре, иметь представление о природе проводимости твердых тел с различным строением и о свойствах собственных и легированных полупроводников, основных принципах применения полупроводниковых материалов в электронике; иметь представление о факторах воздействия излучений космического пространства и основные механизмы взаимодействия ядерных частиц с веществом; знать об основах использования радиационных методов в технологических целях.

### 1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
<b>ОПК-4: Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях;</b>	
ОПК-4.1: Демонстрирует знания естественнонаучных дисциплин	знать кристаллические свойства твердых тел, их зонную структуру, иметь представление о природе проводимости твердых тел с различным строением и о свойствах собственных и легированных полупроводников
ОПК-4.2: Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	знать основные принципы применения полупроводниковых материалов в электронике
<b>ПК-2: Способен применять физические закономерности взаимодействия излучения с веществом в современных технологиях</b>	

ПК-2.1: Применяет	знать о факторах воздействия излучений
закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований	космического пространства и основные механизмы взаимодействия ядерных частиц с веществом
ПК-2.2: Анализирует области применения высокоэнергетических воздействий на вещество в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах	знать основы использования радиационных методов в технологических целях

#### **1.4 Особенности реализации дисциплины**

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	е
		1
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>2 (72)</b>	
занятия лекционного типа	1 (36)	
лабораторные работы	1 (36)	
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>1 (36)</b>	
курсовое проектирование (КП)	Нет	
курсовая работа (КР)	Нет	
<b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>	

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

		Контактная работа, ак. час.							
№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
				Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
		Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС
<b>1. Физика полупроводников</b>									

<p>1. Собственные и примесные полупроводники, кристаллическая структура. Волновая функция электрона, зоны Бриллюэна, энергетические зоны. Металлы и полупроводники. Электроны и дырки, эффективная масса носителя заряда. Мелкие примесные уровни.</p> <p>Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение квантовых состояний в зонах, плотность электронных состояний. Статистика Ферми-Дирака, энергия Ферми, вырожденные и невырожденные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники, закон действующих масс и концентрация носителей в собственном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми, уровень Ферми в собственных полупроводниках. Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях, уровень Ферми в примесных полупроводниках. Механизм электропроводности полупроводников, подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость. Природа электросопротивления. Дрейфовая скорость. Контактные явления в полупроводниках, потенциальные барьеры, условие равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов. Выпрямление в контакте металл-полупроводник, вольт-амперная характеристика.</p>	18							
--	----	--	--	--	--	--	--	--

<p>2. Собственные и примесные полупроводники, кристаллическая структура. Волновая функция электрона, зоны Бриллюэна, энергетические зоны. Металлы и полупроводники. Электроны и дырки, эффективная масса носителя заряда. Мелкие примесные уровни.</p> <p>Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение квантовых состояний в зонах, плотность электронных состояний. Статистика Ферми-Дирака, энергия Ферми, вырожденные и невырожденные полупроводники. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники, закон действующих масс и концентрация носителей в собственном полупроводнике. Определение положения уровня Ферми, уровень Ферми в собственных полупроводниках. Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях, уровень Ферми в примесных полупроводниках. Механизм электропроводности полупроводников, подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость. Природа электросопротивления. Дрейфовая скорость. Контактные явления в полупроводниках, потенциальные барьеры, условие равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов. Выпрямление в контакте металл-полупроводник, вольт-амперная характеристика.</p>					10			
3.							8	
<b>2. Введение в радиационную физику твердого тела</b>								

<p>1. Внешние воздействующие факторы космического пространства: радиационные пояса Земли, солнечные космические лучи, галактические космические лучи, вторичное излучение. Основные механизмы взаимодействия ядерных частиц с веществом. Ионизационные потери ядерных частиц. Дефектообразование. Ядерные реакции. Потери энергии быстрых электронов и легких ионов в твердых телах: сечение неупругого торможения; сравнение потерь энергии на электронах, плазмонах и на ядрах; потери энергии в химических соединениях; правило Брэгга. Ядерные потери энергии: кинематика упругих столкновений; потенциалы ионно-атомного взаимодействия; сечение упругого торможения, прицельный параметр; статистическая модель атома Томаса - Ферми; определение ядерных потерь энергии в твердом теле. Каналирование: каналирование в монокристаллах; распределение потока каналированных частиц; рассеяние на дефектах и примесях, смещенных из узлов решетки. Пороговые энергии возникновения дефектов в кристаллах. Пробеги электронов в веществе. Общее число первично смещенных атомов при облучении электронами. Пробеги ионов в твердых телах, распределение пробегов; распределение имплантируемых элементов по глубине с учетом эффекта каналирования; число смещенных атомов и распределение дефектов по глубине. Термическая стабильность радиационных изменений кристаллов. Механизмы отжига.</p>	8							
	9							

<p>2. Решение фазовой проблемы структурного анализа. Структурная амплитуда как случайная величина. Распределение структурных амплитуд в центро- и нецентро- симметричном случаях. Структурные инварианты (триплеты, квартеты и т.д.). Распределение структурных инвариантов. Применение структурных инвариантов к поиску модели структуры. Прямые методы. Функция Паттерсона. Метод функции Паттерсона. Метод изоморфного замещения. Метод аномального рассеяния. Метод наименьших квадратов. Разностные синтезы электронной плотности. Критерии качества уточнения. Метод Ритвельда в порошковой рентгенографии. Взаимодействие пучка электронов с веществом. Приборы для электронографии. Взаимодействие пучка нейтронов с веществом. Магнитное и структурное рассеяние. Стационарные и импульсные ядерные реакторы. Иные источники нейтронов. Тепловые нейтроны. Монохроматоры и детекторы. Задачи, решаемые с помощью рассеяния нейтронов.</p>	10							
--	----	--	--	--	--	--	--	--

<p>3. Внешние воздействующие факторы космического пространства: радиационные пояса Земли, солнечные космические лучи, галактические космические лучи, вторичное излучение. Основные механизмы взаимодействия ядерных частиц с веществом. Ионизационные потери ядерных частиц. Дефектообразование. Ядерные реакции. Потери энергии быстрых электронов и легких ионов в твердых телах: сечение неупругого торможения; сравнение потерь энергии на электронах, плазмонах и на ядрах; потери энергии в химических соединениях; правило Брэгга. Ядерные потери энергии: кинематика упругих столкновений; потенциалы ионно-атомного взаимодействия; сечение упругого торможения, прицельный параметр; статистическая модель атома Томаса - Ферми; определение ядерных потерь энергии в твердом теле. Каналирование: каналирование в монокристаллах; распределение потока каналированных частиц; рассеяние на дефектах и примесях, смещенных из узлов решетки. Пороговые энергии возникновения дефектов в кристаллах. Пробеги электронов в веществе. Общее число первично смещенных атомов при облучении электронами. Пробеги ионов в твердых телах, распределение пробегов; распределение имплантируемых элементов по глубине с учетом эффекта каналирования; число смещенных атомов и распределение дефектов по глубине. Термическая стабильность радиационных изменений кристаллов. Механизмы отжига.</p>	11				18			
---	----	--	--	--	----	--	--	--

4.							20	
<b>3. Использование радиационных методов в технологических целях</b>								
1. Оборудование для облучения электронами, ионами и нейтронами. Фотонные фабрики. Ионное легирование. Основные преимущества метода. Синтез захороненных слоев. Ионное перемешивание. Трансмутационное легирование полупроводников при облучении нейтронами, фотонами. Активационный анализ. Импульсный отжиг полупроводников: рекристаллизация имплантированных слоев, диффузия и сегрегация примесей; диффузионный синтез соединений при импульсном воздействии на двухслойную или многослойную структуру.								
2. Оборудование для облучения электронами, ионами и нейтронами. Фотонные фабрики. Ионное легирование. Основные преимущества метода. Синтез захороненных слоев. Ионное перемешивание. Трансмутационное легирование полупроводников при облучении нейтронами, фотонами. Активационный анализ. Импульсный отжиг полупроводников: рекристаллизация имплантированных слоев, диффузия и сегрегация примесей; диффузионный синтез соединений при импульсном воздействии на двухслойную или многослойную структуру.					8			
3.							8	
Всего	36				36		36	

## **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Кольцов Г. И. Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов. Сборник задач(Москва: МИСИС).
2. Бурбаева Н. В. Основы полупроводниковой электроники(Москва: Физматлит).
3. Грундман М., Гергель В. А. Основы физики полупроводников. Нанофизика и технические приложения: перевод с английского(Москва: ФИЗМАТЛИТ).
4. Епифанов Г. И. Физика твердого тела: учебное пособие для втузов (Санкт-Петербург: Лань).
5. Игумнов Д. В., Костюнина Г. П. Основы полупроводниковой электроники: учеб. пособие(Москва: Горячая линия-Телеком).
6. Александров К. С., Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П., Сорокин П. Б., Бурков С. И., Глушков Д. А., Четвергов Н. А., Софронова С. Н., Токарев Н. А. Теоретическая физика твердого тела: электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины(Красноярск: СФУ).
7. Якимов И. С., Дубинин П. С. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ поликристаллов: учеб.-метод. пособие для курс. работы [для студентов напр. 150100 «Материаловедение и технология новых материалов»](Красноярск: СФУ).

### **4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Microsoft Office
2. Adobe Reader.

### **4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Доступ к библиотечному фонду (см. сайт СФУ, раздел «Библиотека», <http://bik.sfu-kras.ru/>).

## **5 Фонд оценочных средств**

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

## **6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Лекции проводятся в учебных аудиториях для занятий лекционного типа, оборудованных учебной мебелью и доской.

Лабораторные проводятся в аудитории лабораторного типа, укомплектованной оборудованием: учебная мебель, доска, вычислительная техника, лабораторный практикум по радиационной физике.