

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.30 РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
профессор, д.ф.-м.н. Панкрац А.И.

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 высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-4 Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях;	
ОПК-4.1 Демонстрирует знания естественнонаучных дисциплин	знать кристаллические свойства твердых тел, их зонную структуру; иметь представления 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
ПК-2 Способен применять физические закономерности взаимодействия излучения с веществом в современных технологиях	
ПК-2.1 Применяет закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований	уметь применять знания закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований
ПК-2.2 Анализирует области применения высокоэнергетических воздействий на вещество в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах	уметь использовать радиационные методы в технологических целях

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		11
Общая трудоемкость дисциплины	4 (144)	4 (144)
Контактная работа с преподавателем:	2 (72)	2 (72)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
лабораторные работы	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Экзамен)	36	Экзамен

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Физика полупроводников					
1.	Лек	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. 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.	14	11	
2.	Лаб	Анизотропия акустических свойств полупроводников	8	11	
3.	Лаб	Технология изготовления омических контактов «полупроводник-металл»	6	11	
4.	Ср	Самостоятельная работа	12	11	
Раздел 2. Введение в радиационную физику твердого тела					
1.	Лек	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.	8	11	

2.	Лек	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.	6	11	
3.	Лаб	Исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых p-n переходов, подвергнутых радиационному облучению	6	11	
4.	Лаб	Акустическая микроскопия дефектов твердых тел	8	11	
5.	Ср	Самостоятельная работа	16	11	
Раздел 3. Использование радиационных методов в технологических целях					
1.	Лек	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	11	
2.	Лаб	Люминесценция монокристаллов сцинтилляторов	8	11	
3.	Ср	Самостоятельная работа	8	11	
4.	Экзамен	Экзамен	36	11	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Кольцов Г. И. Физика полупроводниковых приборов. Расчет параметров биполярных приборов. Сборник задач [Электронный ресурс]:. - Москва: МИСИС, 2012. - – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=47460 .

2. Бурбаева Н. В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]:. - Москва: Физматлит, 2012. - – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5261 .

3. Грундман М., Гергель В. А. Основы физики полупроводников. Нанопластика и технические приложения:перевод с английского. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 771 с..

4. Епифанов Г. И. Физика твердого тела:учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 288 с..

5. Игумнов Д. В., Костюнина Г. П. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]:учеб. пособие. - Москва: Горячая линия-Телеком, 2011. - 394 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5157 .

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 [Электронный ресурс]:электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. - Красноярск: СФУ, 2007. - on-line – Режим доступа: http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/ELIB_DC/UMKD/i-656895.zip .

7. Якимов И. С., Дубинин П. С. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ поликристаллов [Электронный ресурс]:учеб.-метод. пособие для курс. работы [для студентов напр. 150100 «Материаловедение и технология новых материалов»]. - Красноярск: СФУ, 2012. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-551249.pdf> .

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 Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

2. Microsoft Windows Professional 10 Russian. Операционная система Windows.

3. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

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

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>

2. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>

3. Библиотечно-издательский комплекс СФУ <https://bik.sfu-kras.ru/elib/databases>

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/project_user_tools.asp?

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

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

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

учебная аудитория (лаборатория): Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, лабораторное оборудование в соответствии со спецификой дисциплины, АРМ преподавателя, подключением к сети «Интернет» и индивидуальным неограниченным доступом в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике

Б1.О.30 Радиационная физика твердого тела

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

Красноярск 2024

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ОПК-4: Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях			
11	ОПК-4.1: Демонстрирует знания естественнонаучных дисциплин	знать кристаллические свойства твердых тел, их зонную структуру; иметь представления о природе проводимости твердых тел с различным строением и о свойствах собственных и легированных полупроводников	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к экзамену
11	ОПК-4.2: Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	знать основные принципы применения полупроводниковых материалов в электронике	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к экзамену
ПК-2: Способен применять физические закономерности взаимодействия излучения с веществом в современных технологиях			
11	ПК-2.1: Применяет закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований	уметь применять знания закономерности взаимодействия излучения с веществом в результатах научных исследований	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к экзамену
11	ПК-2.2: Анализирует области применения высокоэнергетических воздействий на вещество в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах	уметь использовать радиационные методы в технологических целях	Защита лабораторных работ; Контрольные вопросы к экзамену

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Перечень лабораторных работ:

1. Анизотропия акустических свойств полупроводников.
2. Технология изготовления омических контактов «полупроводник-металл»
3. Исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых р-п переходов, подвергнутых радиационному облучению
4. Акустическая микроскопия дефектов твердых тел
5. Люминесценция монокристаллов сцинтилляторов

Методические рекомендации по выполнению и защите лабораторных работ:

Для выполнения лабораторной работы по соответствующему разделу студент, используя учебно-методические пособия, изучает теорию явления, получает допуск для проведения эксперимента, оформляет реферативную часть (отчет) с таблицами и графиками, блок-схемой экспериментальной установки. Затем проводит лабораторный эксперимент, обрабатывает результаты, оформляет выводы, защищает работу.

Отчет по лабораторной работе представляется по следующей форме:

- название и авторы работы; организация, где выполнена работа, краткая аннотация;
- теоретическое введение, цель работы;
- оригинальная часть, состоящая из следующих разделов: материалы и приборы, методика измерений, обработка и обсуждение результатов, оценка достоверности полученного результата, выводы;
- список литературных источников.

Критерии оценки защиты лабораторной работы:

«Зачтено» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент демонстрирует:

- владение теоретическим материалом в привязке в экспериментальной проверке модели явления;
- понимание приближений, в рамках которых используется теоретическая модель;
- умение доказать достоверность полученных результатов путем вычисления статистической и систематической погрешностей и сравнение с литературными данными;
- владения размерностями физических величин и умение применять различные системы единиц;
- умение делать однозначные выводы, связанные с полученным результатом;
- правильность оформления библиографических данных;

– умение осуществлять поиск материалов по теме в сети Internet.

«**Не зачтено**» за лабораторную работу, если при защите отчета по лабораторной работе студент не демонстрирует вышеперечисленных знаний, умений, навыков.

Контрольные вопросы к экзамену:

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.
2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Распределение квантовых состояний в зонах, плотность электронных состояний.
3. 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.
4. Механизм электропроводности полупроводников, подвижность носителей заряда и ее температурная зависимость. Природа электросопротивления. Дрейфовая скорость.
5. Контактные явления в полупроводниках, потенциальные барьеры, условие равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов. Выпрямление в контакте металл-полупроводник, вольт-амперная характеристика.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Каналирование: каналирование в монокристаллах; распределение потока каналированных частиц; рассеяние на дефектах и примесях, смещенных из узлов решетки.

10. Пороговые энергии возникновения дефектов в кристаллах. Пробег электронов в веществе. Общее число первично смещенных атомов при облучении электронами.
11. Пробег ионов в твердых телах, распределение пробегов; распределение имплантируемых элементов по глубине с учетом эффекта каналирования; число смещенных атомов и распределение дефектов по глубине.
12. Термическая стабильность радиационных изменений кристаллов. Механизмы отжига.
13. Решение фазовой проблемы структурного анализа. Структурная амплитуда как случайная величина. Распределение структурных амплитуд в центро- и нецентро- симметричном случаях.
14. Структурные инварианты (триплеты, квартеты и т.д.). Распределение структурных инвариантов. Применение структурных инвариантов к поиску модели структуры.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Импульсный отжиг полупроводников: рекристаллизация имплантированных слоев, диффузия и сегрегация примесей; диффузионный синтез соединений при импульсном воздействии на двухслойную или многослойную структуру.

Методические рекомендации по проведению экзамена:

Студент допускается к экзамену при условии выполнения всех лабораторных работ.

Экзамен является заключительным этапом изучения учебной дисциплины. Форма проведения экзамена - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценки экзамена:

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал разнообразных литературных источников, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Разработчик



А.И. Панкрац