

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 21.09.2023 17:35:44

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физика конденсированного состояния

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

28.03.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

Профиль

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **7 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 252

в том числе:

аудиторные занятия 153

самостоятельная работа 75

часов на контроль 24

Формы контроля в семестрах:

экзамен 6

зачет с оценкой 5

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 5 (3.1) | | 6 (3.2) | | Итого | |
|---|---------|-----|---------|-----|-------|-----|
| | УП | РП | УП | РП | | |
| Неделя | 18 | | 18 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 34 | 34 | 34 | 34 | 68 | 68 |
| Лабораторные | 17 | 17 | 17 | 17 | 34 | 34 |
| Практические | 17 | 17 | 34 | 34 | 51 | 51 |
| Итого ауд. | 68 | 68 | 85 | 85 | 153 | 153 |
| Контактная работа | 68 | 68 | 85 | 85 | 153 | 153 |
| Сам. работа | 40 | 40 | 35 | 35 | 75 | 75 |
| Часы на контроль | | | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Итого | 108 | 108 | 144 | 144 | 252 | 252 |

Программу составил(и):

кфмн, доцент, Кобелева Светлана Петровна; ктн, доцент, Коновалов Михаил Павлович

Рабочая программа

Физика конденсированного состояния

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 28.03.01 НАНОТЕХНОЛОГИИ И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, 28.03.01-БНМТ-23.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | Научить понимать физические явления, процессы и эффекты в металлах, полуметаллах, полупроводниках и диэлектрических кристаллах, некристаллических твердых телах, используемых для создания полупроводниковых, оптоэлектронных приборов и интегральных микросхем. |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| Блок ОП: | | Б1.В |
|------------|---|------|
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Математическая статистика и анализ данных | |
| 2.1.2 | Методы математической физики | |
| 2.1.3 | Основы квантовой механики | |
| 2.1.4 | Практическая кристаллография | |
| 2.1.5 | Физика | |
| 2.1.6 | Физическая химия | |
| 2.1.7 | Электротехника | |
| 2.1.8 | Математика | |
| 2.1.9 | Органическая химия | |
| 2.1.10 | Информатика | |
| 2.1.11 | Химия | |
| 2.1.12 | Инженерная и компьютерная графика | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Инженерная математика | |
| 2.2.2 | Конструкционные материалы и их технологии | |
| 2.2.3 | Материаловедение магнитной электроники и микросистемной техники | |
| 2.2.4 | Оборудование микро- и нанотехнологий | |
| 2.2.5 | Оборудование производства магнитных материалов | |
| 2.2.6 | Физические основы микро- и наносистемной техники | |
| 2.2.7 | Функциональные материалы и их технологии | |
| 2.2.8 | Ионно-плазменная обработка материалов | |
| 2.2.9 | Магнитные измерения | |
| 2.2.10 | Моделирование и проектирование микро- и наносистем | |
| 2.2.11 | Основы спинтроники | |
| 2.2.12 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.13 | Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики | |
| 2.2.14 | Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом | |
| 2.2.15 | Химия наноматериалов и наносистем | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

| |
|---|
| ПК-3: Способен обоснованно выбирать методы нанотехнологий с целью получения функциональных и конструкционных наноматериалов неорганической и органической природы для реализации устройств и систем nano- и микросистемной техники |
| Знать: |
| ПК-3-31 Методы и средства измерения параметров и характеристик материалов электронной техники |
| ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные |
| Знать: |
| ОПК-3-31 Методы обработки результатов измерений параметров материалов электронной техники |
| УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач |
| Знать: |
| УК-1-31 Фундаментальные физические явления, процессы и эффекты в твердых телах |

| |
|---|
| ПК-4: Способен разрабатывать на основе современных программных продуктов эффективные алгоритмы решения задач по созданию материалов микро- и наносистемной техники с заданным набором эксплуатационных характеристик, а также технологий их получения |
| Уметь: |
| ПК-4-У1 Решать задачи по созданию материалов электронной техники |
| ПК-4-У2 Работать на персональном компьютере на уровне уверенного пользователя, применять специализированное программное обеспечение |
| ПК-3: Способен обоснованно выбирать методы нанотехнологий с целью получения функциональных и конструкционных наноматериалов неорганической и органической природы для реализации устройств и систем нано- и микросистемной техники |
| Уметь: |
| ПК-3-У1 Производить настройку и калибровку оборудования для проведения измерения параметров материалов электронной техники |
| ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные |
| Уметь: |
| ОПК-3-У2 Интерпретировать результаты измерений параметров и характеристик материалов электронной техники в соответствии с поставленной задачей |
| УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач |
| Уметь: |
| УК-1-У1 Осуществлять поиск современной научно-технической литературы с использованием библиографических и реферативных баз данных |
| УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения |
| Уметь: |
| УК-2-У1 Обоснованно находить оптимальные методы и способы решения поставленных практических задач в области физики конденсированного состояния |
| ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные |
| Уметь: |
| ОПК-3-У1 Проводить измерения параметров материалов электронной техники |
| Владеть: |
| ОПК-3-В1 Навыками по оформлению протоколов измерений параметров материалов электронной техники |
| УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач |
| Владеть: |
| УК-1-В1 Системным подходом к решению поставленных практических задач в области физики конденсированного состояния |
| ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные |
| Владеть: |
| ОПК-3-В2 Навыками статистической обработки экспериментальных данных |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|--|----------------|-------|------------------------------------|-----------------------------------|------------|----|--------------------|
| | Раздел 1. Электронная теория проводимости | | | | | | | |
| 1.1 | Электронная теория Друде-Лоренца /Лек/ | 5 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|--|---|--|-----|----|
| 1.2 | Классическая теория Друде-Лоренца /Пр/ | 5 | 3 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ8 | Р8 |
| 1.3 | Измерение удельного электросопротивления полупроводников двухзондовым методом /Лаб/ | 5 | 4 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | Р1 |
| 1.4 | Проработка лекционного материала. Подготовка к ЛР. Выполнение ДЗ. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 5 | 2 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 2. Основы зонной теории твердого тела | | | | | | | |
| 2.1 | Уравнение Шредингера для электронов в кристалле. Адиабатическое и одноэлектронное приближение /Лек/ | 5 | 4 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 2.2 | Понятие квазиимпульса и зон Бриллюэна /Лек/ | 5 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 2.3 | Понятие дырки. Эффективная масса носителей заряда /Лек/ | 5 | 1 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 2.4 | Зонная структура основных полупроводниковых материалов /Лек/ | 5 | 1 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 2.5 | Метод эффективной массы для расчета энергии ионизации мелких водородоподобных примесей и энергии связи экситонов /Лек/ | 5 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 2.6 | Зоны Бриллюэна. Расчет эффективной массы свободных носителей заряда в приближении сильной связи. /Пр/ | 5 | 3 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ8 | Р8 |
| 2.7 | Расчет энергии ионизации водородоподобных примесей и экситонов /Пр/ | 5 | 2 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ8 | Р8 |
| 2.8 | Проработка лекционного материала. Выполнение ДЗ. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 5 | 14 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 3. Статистика равновесных носителей заряда | | | | | | | |
| 3.1 | Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности /Лаб/ | 5 | 4 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | КМ2 | Р2 |

| | | | | | | | | |
|------|--|---|----|---|--|--|-----|----|
| 3.2 | Расчет параметров полупроводника по измерению эффекта Холла /Лаб/ | 5 | 4 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | КМ3 | Р3 |
| 3.3 | Проработка лекционного материала. Выполнение ДЗ. Подготовка к Лр. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 5 | 10 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 3.4 | Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Понятие уровня Ферми /Лек/ | 5 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 3.5 | Методика расчета равновесной концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках /Лек/ | 5 | 3 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 3.6 | Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника /Лек/ | 5 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 3.7 | Зависимость уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью /Лек/ | 5 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 3.8 | Вырожденный полупроводник /Лек/ | 5 | 1 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 3.9 | Расчет температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в собственных и легированных примесью одного типа полупроводниках /Пр/ | 5 | 5 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ9 | Р9 |
| 3.10 | Расчет температурной зависимости концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в компенсированных полупроводниках /Пр/ | 5 | 4 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ9 | Р9 |
| | Раздел 4. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда | | | | | | | |
| 4.1 | Генерация и рекомбинация свободных носителей заряда. Понятие времени жизни свободных носителей заряда /Лек/ | 5 | 6 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|--|---|--|-----|----|
| 4.2 | Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по спаду фотопроводимости /Лаб/ | 5 | 5 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | КМ4 | Р4 |
| 4.3 | Проработка лекционного материала. Подготовка к Лр. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 5 | 7 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 4.4 | Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках /Пр/ | 6 | 4 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 5. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда | | | | | | | |
| 5.1 | Диффузия и дрейф свободных носителей заряда. Понятие диффузионной длины свободных носителей заряда /Лек/ | 5 | 6 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 5.2 | Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 5 | 7 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 5.3 | Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводниках /Пр/ | 6 | 2 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 6. Контактные явления в твердых телах | | | | | | | |
| 6.1 | Полупроводник во внешнем электрическом поле. Термоэлектронная работа выхода. Контакт металл-полупроводник. Контактная разность потенциалов. Энергетические диаграммы контакта металл-полупроводник /Лек/ | 6 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 6.2 | Контакт электронного и дырочного п/п (р-п переход). Образование р-п перехода. Толщина ОПЗ для симметричных и несимметричных р-п переходов. Энергетические диаграммы р-п перехода при различных смещениях. ВАХ р-п перехода. Параметры реальной ВАХ р-п перехода. Барьерная емкость р-п перехода /Лек/ | 6 | 4 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 6.3 | Гетеропереходы. Образование гетероперехода. Определение параметров гетероперехода. Энергетические диаграммы гетероперехода. Области применения гетеропереходов /Лек/ | 6 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Э1 Э2 Э3 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|-----------------|---|--|------|-----|
| 6.4 | Контакт металл-полупроводник. Расчет контактной разности потенциалов. Построение энергетических диаграмм при различных внешних смещениях /Пр/ | 6 | 2 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ12 | Р12 |
| 6.5 | p-n переход. Расчет толщины ОПЗ. Построение энергетических диаграмм p-n перехода. Расчет ВАХ. Определение барьерной емкости p-n перехода /Пр/ | 6 | 4 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ12 | Р12 |
| 6.6 | Расчет параметров гетероперехода. Построение диаграмм гетеропереходов /Пр/ | 6 | 4 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ12 | Р12 |
| 6.7 | Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 6 | 6 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| Раздел 7. Теория рассеяния носителей заряда | | | | | | | | |
| 7.1 | Колебания атомов кристаллической решетки. Закон дисперсии фононов. Акустические и оптические фононы /Лек/ | 6 | 4 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 7.2 | Теория рассеяния свободных носителей заряда в кристаллических твердых телах. Температурная зависимость подвижности для основных механизмов рассеяния /Лек/ | 6 | 4 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 7.3 | Определение доминирующих механизмов рассеяния в полупроводниковых материалах /Пр/ | 6 | 3 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ13 | Р13 |
| 7.4 | Расчет температурной зависимости подвижности свободных носителей заряда для различных механизмов рассеяния /Пр/ | 6 | 3 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ13 | Р13 |
| 7.5 | Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 6 | 4 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.4 Л3.6 Э1 Э2 Э3 | | | |
| Раздел 8. Кинетические явления в твердых телах | | | | | | | | |
| 8.1 | Кинетическое уравнение Больцмана в приближении времени релаксации. Расчет кинетических коэффициентов для невырожденных полупроводников. Классификация кинетических эффектов /Лек/ | 6 | 6 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|----|--|--|--|------|-----|
| 8.2 | Кинетические эффекты в сильных электрических и магнитных полях /Лек/ | 6 | 4 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 8.3 | Эффект Зеебека /Пр/ | 6 | 3 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ13 | Р13 |
| 8.4 | Эффект Холла. Эффект Холла в п/п с двумя типами носителей заряда /Пр/ | 6 | 3 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ13 | Р13 |
| 8.5 | Магниторезистивный эффект /Пр/ | 6 | 2 | УК-1-В1 УК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ13 | Р13 |
| 8.6 | Исследование магнетосопротивления полупроводников /Лаб/ | 6 | 5 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3.5 Э1 Э2 Э3 | | КМ5 | Р5 |
| 8.7 | Проработка лекционного материала. Подготовка к Лр. Самостоятельное изучение литературы /Ср/ | 6 | 16 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.4 Л3.5 Л3.6 Э1 Э2 Э3 | | | |
| Раздел 9. Оптические явления в твердых телах | | | | | | | | |
| 9.1 | Поглощение света полупроводниками. Спектры поглощения /Лек/ | 6 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 9.2 | Фотопроводимость. Спектры фотопроводимости /Лек/ | 6 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 9.3 | Спектры люминесценции. Механизмы люминесценции. Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры /Лек/ | 6 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 9.4 | Фотовольтаические эффекты в полупроводниках /Лек/ | 6 | 2 | УК-1-31 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 9.5 | Оптическое поглощение и фотопроводимость /Пр/ | 6 | 4 | УК-1-В1 УК-2-У1 ПК-4-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | КМ14 | Р14 |
| 9.6 | Изучение поглощения света в полупроводниках /Лаб/ | 6 | 6 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 | | КМ6 | Р6 |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|--|--------------------------------------|--|-----|----|
| 9.7 | Изучение собственной и примесной фотопроводимости полупроводников /Лаб/ | 6 | 6 | УК-1-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-У2 ОПК-3-В1 ОПК-3-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-4-У2 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 | | КМ7 | Р7 |
| 9.8 | Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы. Подготовка к Лр /Ср/ | 6 | 9 | УК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 | | | |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|--------|---|--|---|
| КМ1 | Защита лабораторной работы "Измерение удельного электросопротивления полупроводников двухзондовым методом" (5 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>Дайте определение полупроводников как класса твердых веществ с точки зрения величины их электропроводности и ее температурной зависимости.</p> <p>Чем определяется температурная зависимость удельного сопротивления полупроводника?</p> <p>Какие факторы влияют на температуру перехода от примесной проводимости к собственной?</p> <p>Как и почему изменяется удельное сопротивление полупроводника при освещении?</p> <p>Какие сопутствующие паразитные эффекты необходимо учитывать при проведении измерений удельного сопротивления двухзондовым методом?</p> <p>Как устранить влияние сопутствующих эффектов?</p> <p>Какие методы измерения удельного сопротивления полупроводников вам известны?</p> <p>Погрешности измерения удельного сопротивления полупроводника, методики их расчета и минимизации.</p> |
| КМ2 | Защита лабораторной работы "Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности" (5 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>Понятие ширины запрещенной зоны и энергии ионизации примеси.</p> <p>Как изменяется ширина запрещенной зоны полупроводника от температуры?</p> <p>Объясните температурный ход концентрации носителей заряда, чем определяется и от чего зависит эта зависимость?</p> <p>Во всех ли образцах наблюдается участок "плато концентрации" на температурной зависимости удельной электропроводности?</p> <p>Опишите схему измерения энергии ионизации примеси и ширины запрещенной зоны полупроводника.</p> <p>В чем состоит методика измерения энергии ионизации примеси и ширины запрещенной зоны полупроводника?</p> <p>К какой температуре относится определенная в работе ширина запрещенной зоны?</p> <p>Основные факторы, ограничивающие точность полученных результатов.</p> |

| | | | |
|-----|---|--|---|
| КМ3 | Защита лабораторной работы "Расчет параметров полупроводника по измерению эффекта Холла" (5 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>Какие внешние силы приводят к возникновению эффекта Холла? Критерии слабых и сильных магнитных полей.</p> <p>Как связаны коэффициент Холла и концентрация носителей заряда при примесной и собственной проводимости?</p> <p>Дайте определение дрейфовой и холловской подвижности носителей заряда.</p> <p>Какие механизмы рассеяния могут иметь место в полупроводниках?</p> <p>Дайте определение Холл-фактора. Как зависит Холл-фактор от степени вырождения полупроводника, магнитного поля и механизма рассеяния носителей заряда?</p> <p>Приведите температурную зависимость коэффициента Холла для полупроводников n- и p-типа.</p> <p>Какие физические эффекты дают дополнительные поперечные ЭДС при измерении холловской разности потенциалов?</p> |
| КМ4 | Защита лабораторной работы "Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по спаду фотопроводимости" (5 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>Дайте определение времени жизни неравновесных носителей заряда и диффузионной длины.</p> <p>Зависимость времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей заряда от параметров материала.</p> <p>Центры рекомбинации и прилипания неравновесных носителей заряда.</p> <p>Почему понятие времени жизни неравновесных носителей заряда заменяется на "время жизни неосновных носителей заряда"?</p> <p>Диффузионные и дрейфовые токи в полупроводниках.</p> <p>Как влияет поверхностная рекомбинация на измерение времени жизни, каким параметром она описывается?</p> <p>Принцип измерения времени жизни носителей заряда нестационарными методами.</p> <p>Влияние центров прилипания на время жизни неосновных носителей заряда.</p> |
| КМ5 | Защита лабораторной работы "Исследование магнетосопротивления полупроводников" (6 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>При каких условиях возникает магниторезистивный эффект? Что такое подвижность носителей заряда, длина и время свободного пробега?</p> <p>Как влияют внешние условия на подвижность?</p> <p>Механизм возникновения магниторезистивного эффекта в полупроводнике неограниченных размеров.</p> <p>Влияние эффекта Холла на эффект магнетосопротивления.</p> <p>Влияние токовых контактов на эффект магнетосопротивления.</p> <p>Эффект магнетосопротивления в полупроводниках с учетом биполярной проводимости.</p> <p>Какие факторы ограничивают точность определения дрейфовой подвижности.</p> <p>Как исключить влияние эффекта Холла при измерении дрейфовой подвижности?</p> <p>Как зависит магниторезистивный эффект от степени легирования полупроводника?</p> |
| КМ6 | Защита лабораторной работы "Изучение поглощения света в полупроводниках" (6 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>Определите понятие коэффициент поглощения, укажите размерность и порядок его величины для полупроводников. Каковы основные механизмы поглощения света в полупроводниках?</p> <p>Общий вид спектра поглощения и влияние на него концентрации легирующих примесей.</p> <p>Вид спектра собственного поглощения и методы его анализа для прямых и непрямых переходов.</p> <p>Определение ширины запрещенной зоны по краю собственного поглощения.</p> <p>Факторы, влияющие на положение края собственного поглощения полупроводников.</p> <p>Теория экситонных спектров поглощения.</p> <p>Примесное поглощение света в полупроводниках.</p> <p>Поглощение света колебаниями решетки.</p> <p>Каковы основные узлы установки для измерения спектра поглощения?</p> |

| | | | |
|-----|--|--|---|
| КМ7 | Защита лабораторной работы "Изучение собственной и примесной фотопроводимости полупроводников" (6 семестр) | УК-1-31;ОПК-3-31;ОПК-3-У2;ОПК-3-В2;ПК-4-У2 | <p>Понятие фотопроводимости полупроводника. Основные механизмы поглощения света, которые приводят к появлению фотопроводимости. Собственная и примесная фотопроводимость. Длинноволновая граница фотопроводимости. Дайте определение спектра фотопроводимости полупроводника. Чем определяется форма спектра фотопроводимости? Рассмотрите влияние скорости поверхностной рекомбинации на форму спектра фотопроводимости. Как определить экспериментально абсолютную интенсивность света? Принципиальная оптическая схема используемого монохроматора и его технические характеристики. Какие требования предъявляют к контактам при измерении спектра фотопроводимости? Какие приемники излучения применяют для регистрации излучения в видимой области оптического спектра?</p> |
| КМ8 | Контрольная работа № 1 (5 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | <p>Пример контрольной работы Определить время свободного пробега, длину свободного пробега в дырочном кремнии при 300 К. Построить первые три зоны Бриллюэна для двумерной квадратной решетки с базисным вектором a. Используя водородоподобную модель примесных состояний, рассчитать для арсенида галлия энергии донорных и акцепторных состояний и их боровский радиусы. Какова критическая концентрация образования примесной зоны в арсениде галлия?</p> |
| КМ9 | Контрольная работа № 2 (5 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | <p>Пример контрольной работы Определить температуру перехода к собственной проводимости в кремнии марки КДБ 20. Найти расстояние уровня Ферми до дна зоны проводимости и концентрацию свободных носителей заряда в кремнии марки КДБ 4,5 при температуре 150 К. Холловские измерения показали, что собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике при температуре 300 К составляла $2,04 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а при $T = 400 \text{ К}$ – $1,09 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Какова ширина запрещенной зоны этого полупроводника? Из какого материала сделан этот образец?</p> |

| | | | |
|------|------------------|---------|--|
| КМ10 | Тест (5 семестр) | УК-1-31 | <p>Пример теста</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Потенциал электростатического поля: <ul style="list-style-type: none"> - работа по перемещению единичного заряда из данной точки в бесконечность; - работа по перемещению единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность; - сила, действующая на единичный положительный заряд; - работа по перемещению единичного заряда из одной точки в другую. 2. Закон Ома выполняется: <ul style="list-style-type: none"> - всегда; - только в полупроводниках; - только в металлах; - во всех проводящих материалах в слабых электрических полях; - во всех проводящих материалах в сильных электрических полях. 3. Концентрация электронов в металлах с ростом температуры: <ul style="list-style-type: none"> - не меняется; - может только расти; - может только уменьшаться. 4. Ширина запрещенной зоны в полупроводниках: <ul style="list-style-type: none"> - более 10 эВ; - менее 3 эВ; - более 3 эВ. 5. Величина концентрации свободных носителей заряда в металлах: <ul style="list-style-type: none"> - $(1E+22 - 1E+23) \text{ см}^{-3}$; - $(1E+15 - 1E+18) \text{ см}^{-3}$; - $(1E+10 - 1E+18) \text{ см}^{-3}$. 6. В полупроводниках с ростом температуры проводимость растет: <ul style="list-style-type: none"> - за счет увеличения подвижности; - за счет увеличения как концентрации, так и подвижности; - за счет увеличения концентрации электронов или концентрации дырок. 7. Концентрация электронов в полупроводниках с ростом температуры: <ul style="list-style-type: none"> - не меняется; - может только расти; - может только уменьшаться. 8. В металлах с ростом температуры проводимость падает: <ul style="list-style-type: none"> - за счет уменьшения подвижности носителей заряда; - за счет уменьшения как концентрации носителей заряда, так и подвижности носителей заряда; - за счет уменьшения концентрации носителей заряда. 9. Число эквивалентных минимумов в зоне проводимости германия: <ul style="list-style-type: none"> - один; - шесть; - восемь. 10. Число эквивалентных минимумов в зоне проводимости кремния: <ul style="list-style-type: none"> - один; - шесть; - восемь. 11. Число эквивалентных минимумов в зоне проводимости арсенида галлия: <ul style="list-style-type: none"> - один; - шесть; - восемь. 12. Закон дисперсии свободного электрона имеет вид: <ul style="list-style-type: none"> - $E = P^2/(2*m)$; - $E = P^2/m$; - $E = E_i + C + A*\cos(ka)$. 13. Метод эффективной массы позволяет рассчитать: <ul style="list-style-type: none"> - закон дисперсии электронов в зоне проводимости; - энергию ионизации мелких примесей в полупроводниках; - энергию ионизации глубоких примесей в полупроводниках. 14. Экситон на нейтральном доноре это: <ul style="list-style-type: none"> - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг |
|------|------------------|---------|--|

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>заряженного донора; - свободная дырка, вращающаяся на удаленной орбите вокруг нейтрального донора; - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг нейтрального донора.</p> <p>15. Экситон на заряженном доноре это: - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг заряженного донора; - свободная дырка, вращающаяся на удаленной орбите вокруг нейтрального донора; - свободная дырка, вращающаяся на удаленной орбите вокруг заряженного донора.</p> <p>16. Экситон на нейтральном акцепторе это: - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг нейтрального акцептора; - свободная дырка, вращающаяся на удаленной орбите вокруг нейтрального акцептора; - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг заряженного акцептора.</p> <p>17. Экситон на заряженном акцепторе это: - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг заряженного акцептора; - свободная дырка, вращающаяся на удаленной орбите вокруг заряженного акцептора; - свободный электрон, вращающийся на удаленной орбите вокруг заряженного акцептора.</p> <p>18. Разрешенные значения волновых векторов электронов в кристалле находятся: - в зоне Бриллюэна; - в зоне проводимости; - в валентной зоне.</p> <p>19. Свободные электроны находятся: - в зоне Бриллюэна; - в зоне проводимости; - в валентной зоне.</p> <p>20. Свободные дырки находятся: - в зоне Бриллюэна; - в зоне проводимости; - в валентной зоне.</p> <p>21. Концентрация свободных дырок рассчитывается по формуле $p = N_v \cdot \exp(-(F-E_v)/kT)$: - в невырожденных полупроводниках; - в вырожденных полупроводниках; - в собственных полупроводниках.</p> <p>22. Концентрация свободных электронов рассчитывается по формуле $n = N_c \cdot \exp(-(E_c-F)/kT)$: - в невырожденных полупроводниках; - в вырожденных полупроводниках; - в собственных полупроводниках.</p> <p>23. Плотность электронных состояний $N(E)$ это: - число квантово-механических состояний электронов в зоне Бриллюэна; - число квантово-механических состояний электронов в единичном интервале энергий разрешенной зоны; - число квантово-механических состояний электронов в единице объема твердого тела.</p> <p>24. Для одновалентной донорной примеси, для которой примесный уровень двукратно вырожден, фактор спинового вырождения равен: 5; 3; 2.</p> <p>25. Уровень Ферми есть энергетический уровень, вероятность заполнения которого при температуре, отличной от абсолютного нуля равна: - 1; - 0,5; - kT.</p> <p>26. В состоянии теплового равновесия: - скорость генерации равна скорости рекомбинации;</p> |
|--|--|--|

| | | |
|--|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> - процессы генерации и рекомбинации не идут; - скорость генерации превышает скорость рекомбинации. 27. Линейная рекомбинация имеет место в полупроводниках: <ul style="list-style-type: none"> - при низком уровне инжекции; - при высоком уровне инжекции; - всегда. 28. При высоком уровне инжекции межзонная рекомбинация: <ul style="list-style-type: none"> - линейная; - квадратичная; - синусоидальная. 29. При высоком уровне инжекции примесная рекомбинация по механизму Шокли-Рида-Холла: <ul style="list-style-type: none"> - линейная; - квадратичная; - синусоидальная. 30. Время жизни неравновесных носителей заряда: <ul style="list-style-type: none"> - вероятность рекомбинации неравновесного носителя в единицу времени; - вероятность рекомбинации свободного носителя заряда на единице длины; - величина, обратная вероятности рекомбинации неравновесного носителя заряда за единицу времени. 31. Для создания избыточных носителей заряда в полупроводнике: <ul style="list-style-type: none"> - полупроводник освещают квантами света с энергией больше ширины запрещенной зоны; - полупроводник освещают квантами света с энергией больше термодинамической работы выхода; - полупроводник освещают квантами света с энергией больше сродства к электрону. 32. Максимальная концентрация неравновесных носителей заряда в полупроводнике в случае создания однородной генерации в объеме со скоростью генерации равна: <ul style="list-style-type: none"> - произведению скорости генерации и времени жизни; - произведению скорости генерации и квадрата времени жизни; - произведению квадрата скорости генерации и времени жизни. 33. Диффузия – движение носителей заряда из-за: <ul style="list-style-type: none"> - прямолинейного внешнего электрического поля; - градиента концентрации; - градиента температур. 34. Плотность диффузионного тока электронов: <ul style="list-style-type: none"> - пропорциональна градиенту их концентрации; - обратно пропорциональна градиенту их концентрации; - не зависит от градиента концентрации. 35. Вектор плотности потока дырок направлен: <ul style="list-style-type: none"> - перпендикулярно направлению градиента их концентрации; - в сторону градиента их концентрации; - в сторону противоположную градиенту их концентрации. 36. Одновременно с процессом диффузии неравновесных носителей происходит процесс их: <ul style="list-style-type: none"> - рекомбинации; - генерации; - как рекомбинации, так и генерации. 37. Изменение концентрации носителей заряда в объеме полупроводника происходит в результате: <ul style="list-style-type: none"> - только генерации; - только рекомбинации; - как генерации, так и рекомбинации. 38. По мере продвижения вглубь полупроводника избыточные дырки и электроны будут рекомбинировать и их концентрации: <ul style="list-style-type: none"> - с расстоянием будут убывать; - с расстоянием будут возрастать; - не зависят от расстояния. 39. Диффузионная скорость, численно равна скорости, с которой неравновесные носители за время жизни проходят интервал равный: <ul style="list-style-type: none"> - диффузионной длине; - коэффициенту диффузии; - дрейфовой подвижности. |
|--|--|---|

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>40. В примесном полупроводнике диффузия и дрейф избыточных носителей заряда определяются:</p> <ul style="list-style-type: none">- подвижностью основных носителей заряда;- коэффициентом диффузии и подвижностью неосновных носителей заряда;- коэффициентом диффузии неосновных носителей заряда. <p>41. При пропускании тока через образец на положительном полюсе образца n-типа концентрация неосновных носителей увеличилась. Как называется такой эффект?</p> <ul style="list-style-type: none">- инжекция;- экстракция;- эксклюзия;- аккумуляция. <p>42. При пропускании тока через образец на положительном полюсе образца p-типа концентрация неосновных носителей увеличилась. Как называется такой эффект?</p> <ul style="list-style-type: none">- инжекция;- экстракция;- эксклюзия;- аккумуляция. <p>43. При пропускании тока через образец на положительном полюсе образца n-типа концентрация неосновных носителей уменьшилась. Как называется такой эффект?</p> <ul style="list-style-type: none">- инжекция;- экстракция;- эксклюзия;- аккумуляция. <p>44. При пропускании тока через образец на отрицательном полюсе образца n-типа концентрация неосновных носителей увеличилась. Как называется такой эффект?</p> <ul style="list-style-type: none">- инжекция;- экстракция;- эксклюзия;- аккумуляция. <p>45. При пропускании тока через образец на отрицательном полюсе образца p-типа концентрация неосновных носителей увеличилась. Как называется такой эффект?</p> <ul style="list-style-type: none">- инжекция;- экстракция;- эксклюзия;- аккумуляция. |
|--|--|--|--|

| | | | |
|------|------------------------------------|-------------------------|--|
| КМ11 | Домашнее задание (5 семестр) | УК-1-У1;УК-1-В1;УК-2-У1 | <p>Пример домашнего задания</p> <p>Напряженность электрического поля в образце монокристаллического кремния сечением 1 квадратный миллиметр $E = 0,3 \text{ В/м}$, сила тока $I = 0,2 \text{ А}$. Рассчитать величину удельного сопротивления, время релаксации и концентрацию электронов проводимости, если их подвижность $1350 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.</p> <p>Оценить максимальное и собственное сопротивление при комнатной температуре полупроводника со следующими параметрами: $E_g = 1,5 \text{ эВ}$, $m_p = 0,5m_e$, $m_n = m_e$, подвижность дырок - $450 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, подвижность электронов - $1500 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.</p> <p>Найти концентрацию акцепторной примеси для этого случая.</p> <p>Рассчитать дрейфовую скорость электронов в полупроводнике, если $j = 0,2 \text{ А/см}^2$, $m^* = 0,5m_e$, $n = 5E+17 \text{ см}^{-3}$. Выполняется ли закон Ома в таком материале при $T = 300 \text{ К}$?</p> <p>Полупроводник из монокристаллического германия с концентрацией свободных электронов $5E+17 \text{ см}^{-3}$ имеет форму параллелепипеда с размерами $10 \times 2 \times 1 \text{ мм}$. Определить дрейфовую скорость электронов при протекании через образец тока 1 мА.</p> <p>Рассчитать энергию связанного на нейтральном акцепторе экситона в арсениде галлия в водородоподобной модели.</p> <p>Рассчитать длину волны де Бройля электронов с энергией, соответствующей средней кинетической энергии при $T = 300 \text{ К}$ в зоне проводимости собственного арсенида галлия.</p> <p>Найти концентрацию свободных носителей заряда и расстояние уровня Ферми до дна зоны проводимости в собственном кремнии при температуре 200 К.</p> <p>Рассчитать концентрацию свободных носителей заряда и положение уровня Ферми в КЭФ 10 при температуре 200 К и 800 К.</p> <p>Определить границы области истощения кремния марки КЭФ 40. Какова доля дырочной компоненты электрического тока ($j_p / (j_p + j_n)$) в чистом InAs при $T = 300 \text{ К}$?</p> <p>Найти расстояние уровня Ферми до потолка валентной зоны в кремнии марки КЭФ 0,03 при $T = 300 \text{ К}$.</p> <p>Сколько надо добавить фосфора в кремний марки КДБ 10, чтобы сопротивление материала при комнатной температуре уменьшилось в 2 раза?</p> <p>Холловские измерения показали, что собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике при температуре 300 К составляла $2,34E+13 \text{ см}^{-3}$, а при $T = 400 \text{ К}$ - $1,6E+15 \text{ см}^{-3}$. Какова ширина запрещенной зоны этого полупроводника? Из какого материала сделан этот образец?</p> <p>Решая уравнение электронейтральности вывести формулу для расчета концентрации электронов в области ионизации и истощения донорной примеси.</p> |
| КМ12 | Контрольная работа № 1 (6 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | <p>Пример контрольной работы</p> <p>Рассчитать величину тока в кремниевом p-n переходе при внешнем напряжении $U_{пр} = 0,25 \text{ В}$. Уровни легирования: $N_a = 1E+16 \text{ см}^{-3}$, $N_d = 5E+14 \text{ см}^{-3}$. Площадь равна 1 мм^2. Время жизни неосновных носителей заряда равно $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ и $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ соответственно.</p> <p>Образец n-Si покрыт Pt. Концентрация легирующей примеси в Si - $6E+15 \text{ см}^{-3}$. Рассчитать контактную разность потенциалов, толщину обедненного слоя. Определить величину напряжения, которое необходимо приложить к переходу, чтобы увеличить толщину обедненного слоя вдвое.</p> <p>Рассчитать и построить зонную диаграмму гетероперехода n-Si/p-Ge. Концентрация доноров в Si равна $6,2E+15 \text{ см}^{-3}$. Концентрация акцепторов в германии равна $2,5E+16 \text{ см}^{-3}$.</p> |

| | | | |
|------|------------------------------------|-----------------|--|
| КМ13 | Контрольная работа № 2 (6 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | <p>Пример контрольной работы</p> <p>Имеются два кристалла германия р-типа с концентрацией акцепторной примеси $Na_1 = 2E+15 \text{ см}^{-3}$ и $Na_2 = 1E+17 \text{ см}^{-3}$. Во сколько раз различаются значения дифференциальной термоЭДС этих кристаллов при комнатной температуре (доминирующий механизм рассеяния определить методом эффективной длины свободного пробега)?</p> <p>Для германия марки ГДГ 0,5 определить коэффициент Холла при $T = 30 \text{ К}$ и $T = 500 \text{ К}$. При $T = 30 \text{ К}$ доминирует рассеяние на ионах примеси, при $T = 500 \text{ К}$ – рассеяние на тепловых колебаниях решетки.</p> <p>На германиевом образце (диск Корбино), легированном сурьмой с концентрацией $7E+16 \text{ см}^{-3}$, при $T = 300 \text{ К}$ измеряется удельное сопротивление. Определить удельное сопротивление данного образца в магнитном поле 2,5 Тл.</p> |
| КМ14 | Контрольная работа № 3 (6 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | <p>Пример контрольной работы</p> <p>Полупроводник освещается монохроматическим излучением начальной интенсивностью. Определить на какой глубине этого полупроводника интенсивность падающего света уменьшится в 80 раз, если коэффициент поглощения равен $5E+4 \text{ м}^{-1}$, а коэффициент отражения равен 0,29.</p> <p>Пороговая длина волны собственного поглощения полупроводника при температуре 70 К равна 1,042 мкм, а при температуре 250 К – 1,088 мкм. Определить ширину запрещенной зоны полупроводника при $T = 10 \text{ К}$ и температурный коэффициент изменения ширины запрещенной зоны.</p> <p>Свет падает на тонкую кремниевую полупроводниковую пластинку, генерируя свободные электроны со скоростью, равной $2,2E+22 \text{ м}^{-3}/\text{с}$. В темноте при $T = 300 \text{ К}$ уровень Ферми находится выше потолка валентной зоны на 0,876 эВ. Каково время жизни электронов, если проводимость пластины увеличилась на 3 процента?</p> |

| | | | |
|------|---------------------|---------------------------------|---|
| KM15 | Экзамен (6 семестр) | УК-1-31;УК-1-В1;УК-2-У1;ПК-4-У1 | <p>Контакт металл-полупроводник. Термодинамическая работа выхода в п/п. Контактная разность потенциалов.</p> <p>Зонные диаграммы контакта металл-полупроводник при различных внешних смещениях.</p> <p>Плотность тока, текущего через контакт металл-полупроводник при прямом и обратном смещении.</p> <p>Диодная и диффузионная теория выпрямления тока в контакте металл-полупроводник.</p> <p>p-n переход. Образование p-n перехода. Контактная разность потенциалов.</p> <p>Толщина ОПЗ для симметричных и несимметричных p-n переходов.</p> <p>p-n переход при прямом и обратном смещении. Зонные диаграммы p-n перехода.</p> <p>ВАХ идеализированного p-n перехода.</p> <p>ВАХ реального p-n перехода.</p> <p>Барьерная емкость p-n перехода.</p> <p>Гетеропереходы. Определение параметров гетероперехода.</p> <p>Построение зонных диаграмм.</p> <p>Применение гетеропереходов в полупроводниковых приборах.</p> <p>Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.</p> <p>Общая характеристика и физический смысл гальваномангнитных эффектов.</p> <p>Эффект Холла в области примесной проводимости.</p> <p>Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.</p> <p>Эффект Холла, как метод измерения параметров п/п материала.</p> <p>Магниторезистивный эффект.</p> <p>Теплопроводность полупроводников. Различные механизмы теплопереноса.</p> <p>Общая характеристика и физический смысл термоэлектрических эффектов. Эффект Зеебека.</p> <p>Общая характеристика и физический смысл термомагнитных эффектов.</p> <p>Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле.</p> <p>Эффект Ганна. Применение эффекта Ганна для генерации и усиления СВЧ колебаний тока.</p> <p>Эффект ударной ионизации в полупроводниках.</p> <p>Понятие фонона. Закон дисперсии фононов. Температурная зависимость полной энергии кристаллической решетки и теплоемкости кристаллических тел.</p> <p>Акустические и оптические фононы. Энергия и импульс фонона.</p> <p>Температура и частота Дебая.</p> <p>Механизмы рассеяния. Эффективное сечение рассеяния.</p> <p>Связь времени релаксации с эффективным сечением рассеяния.</p> <p>Рассеяние н.з. на нейтральных атомах, ионах примеси.</p> <p>Рассеяние н.з. на акустических и оптических фононах.</p> <p>Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках.</p> <p>Спектр поглощения света полупроводниками. Коэффициент поглощения.</p> <p>Собственное поглощение света. Определение ширины запрещенной зоны по краю собственного поглощения.</p> <p>Влияние внешних условий на собственное поглощение полупроводников.</p> <p>Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры.</p> <p>Механизмы излучательной рекомбинации в полупроводниках.</p> <p>Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.</p> <p>Механизмы излучательной рекомбинации в полупроводниках.</p> <p>Рекомбинационное излучение полупроводников при переходах между зоной и примесными уровнями.</p> <p>Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.</p> <p>Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.</p> <p>Фотовольтаические эффекты в полупроводниках.</p> |
|------|---------------------|---------------------------------|---|

| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
| P1 | Лабораторная работа 1 (5 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Измерение удельного электросопротивления полупроводников двухзондовым методом |
| P2 | Лабораторная работа 2 (5 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности |
| P3 | Лабораторная работа 3 (5 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Расчет параметров полупроводника по измерению эффекта Холла |
| P4 | Лабораторная работа 4 (5 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Определение времени жизни неравновесных носителей заряда по спаду фотопроводимости |
| P5 | Лабораторная работа 1 (6 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Исследование магнетосопротивления полупроводников |
| P6 | Лабораторная работа 2 (6 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Изучение поглощения света в полупроводниках |
| P7 | Лабораторная работа 3 (6 семестр) | ОПК-3-У1;ОПК-3-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1 | Изучение собственной и примесной фотопроводимости полупроводников |
| P8 | Контрольная работа № 1 (5 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | Контрольная работа по электронной теории проводимости и основам зонной теории твердого тела (зоны Бриллюэна; расчет эффективной массы свободных н.з. в приближении сильной связи; расчет энергии ионизации водородоподобных примесей и экситонов) |
| P9 | Контрольная работа № 2 (5 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | Контрольная работа по статистике равновесных носителей заряда в полупроводниках |
| P10 | Тест (5 семестр) | УК-1-31 | Тест по лекционному материалу 5 семестра |
| P11 | Домашнее задание (5 семестр) | УК-1-У1;УК-1-В1;УК-2-У1 | Домашнее задание с практическими задачами по темам: Электронная теория проводимости, основы зонной теории твердого тела, статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках |
| P12 | Контрольная работа № 1 (6 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | Контрольная работа по контактным явлениям в твердых телах (метал-полупроводник, электронно-дырочный переход и гетеропереход) |
| P13 | Контрольная работа № 2 (6 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1 | Контрольная работа по теории рассеяния н.з. (определение доминирующего механизма рассеяния при комнатной температуре, температурная зависимость подвижности н.з. - "колокол подвижности") и кинетическим явлениям в полупроводниках (термоэлектрический эффект, эффект Холла, магниторезистивный эффект) |
| P14 | Контрольная работа № 3 (6 семестр) | УК-1-В1;УК-2-У1;ПК-4-У1 | Контрольная работа по оптическим явлениям в полупроводниках |
| 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.) | | | |
| <p>Экзамен по дисциплине проходит в устной форме в виде ответа студентом на вопросы из билета и дополнительные вопросы, задаваемые преподавателем.</p> <p>Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов и одной задачи. Экзаменационные билеты хранятся на кафедре.</p> | | | |

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Оценки за контрольную работу выставляются по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно решил все три задачи;
- б) «хорошо» – студент правильно решил две задачи;
- в) «удовлетворительно» – студент правильно решил одну задачу;
- г) «неудовлетворительно» – студент не решил ни одной задачи.

Шкала оценок за домашнее задание и тест:

- (90-100) % правильных ответов - оценка "отлично";
- (75-89) % правильных ответов - оценка "хорошо";
- (50-74) % правильных ответов - оценка "удовлетворительно";
- (0-49) % правильных ответов - оценка "неудовлетворительно".

Для получения зачета обучающиеся должны выполнить все работы, предусмотренные в семестре для данной дисциплины, с положительной оценкой.

Оценка формируется как среднеарифметическая из оценок за текущие контрольные работы, домашнее задание и тест.

Для получения допуска к экзамену студент должен полностью выполнить учебный план: написать все контрольные работы, выполнить и защитить лабораторные работы.

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|-------------------------------|---|------------------|-----------------------|
| Л1.1 | Киреев П. С. | Физика полупроводников: учеб. пособие для студ. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1969 |
| Л1.2 | Шалимова К. В. | Физика полупроводников: учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1976 |
| Л1.3 | Горбачев В. В., Спицына Л. Г. | Физика полупроводников и металлов: учебник для вузов по спец. 'Технология спец. материалов электрон. техники' | Библиотека МИСиС | М.: Металлургия, 1982 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--------------------------------------|---|------------------------|--------------------------|
| Л2.1 | Гуртов В. А., Осауленко Р. Н. | Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие | Электронная библиотека | Москва: Техносфера, 2012 |
| Л2.2 | Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. | Физика полупроводников | Электронная библиотека | Москва: Наука, 1977 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------|-------------------|
| Л3.1 | Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И. П., Карпенко И. В., Миронов А. Г. | Сборник задач по физике полупроводников: учеб. пособие для физ. спец. вузов | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1987 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|--|------------------------|------------------------|
| ЛЗ.2 | Анфимов И. М., Кобелева С. П., Коновалов М. П., др. | Физика твердого тела: сб. задач | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2011 |
| ЛЗ.3 | Мартынов В. Н., Спицына Л. Г. | Физика твердого тела: Разд.: Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках: Лаб. практикум для студ. спец. 2001, 2002, 0710 и направл. 5507, 5516, 5531 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2000 |
| ЛЗ.4 | Мартынов В. Н. | Физика твердого тела: Метод. указания по вып. курсовых работ для студ. спец. 01.41, 65.17, 65.18, 65.41 и направл. 55.07, 55.16, 55.31 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2000 |
| ЛЗ.5 | Мартынов В. Н., Маняхин Ф. И., Паничкин А. В., Кобелева С. П. | Физика твердого тела: Лаб. практикум для студ. спец. 2001, 2002, 0710 и направл. 5507, 5516, 5531 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2000 |
| ЛЗ.6 | Спицына Л. Г. | Физика полупроводников и диэлектриков: метод. указания к выполнению дом. заданий и курсовых работ для студ. спец. 20.02 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1989 |
| ЛЗ.7 | Анфимов И. М., Кобелева С. П., Щемеров И. В. | Физика конденсированного состояния. Электронная структура твердых тел: лаб. практикум | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2014 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|---|---|
| Э1 | Электронная библиотека МИСиС | http://elibrary.misis.ru |
| Э2 | ЭБС "Лань" | https://e.lanbook.com |
| Э3 | Курс "Физика конденсированного состояния" на платформе LMS Canvas | https://lms.misis.ru |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|------------------|
| П.1 | MATCAD |
| П.2 | Python |
| П.3 | MATLAB |
| П.4 | LMS Canvas |
| П.5 | Microsoft Office |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|---|
| И.1 | eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru/ |
| И.2 | Электронная библиотека МИСиС http://elibrary.misis.ru |
| И.3 | Единое окно доступа к образовательным ресурсам window.edu.ru |
| И.4 | ЭБС "Лань" https://e.lanbook.com |
| И.5 | Курс "Физика конденсированного состояния" на платформе LMS Canvas |
| И.6 | https://lms.misis.ru |

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|------|------------|-----------|
|------|------------|-----------|

| | | |
|---------------------------------------|--|---|
| К-510 | Учебная аудитория | комплект лабораторного оборудования по ФТТ (АПК ТАУМЕР, установка "ВИК УЭС", компьютер с ПО); электромагнит ФЛ-1; установка для измерения Эффекта Холла, ноутбук с ПО, установка измерения сопротивления полупроводника в магнитном поле (электромагнит, прибор универсальный, источник питания универсальный, источник тока Э378, вольтметр В7-21А); установка определения удельного сопротивления двухзондовым методом (вольтметр В7-21А, источник питания Б5-50, стенд для измерения УЭС 2-зондовым методом с освещением и эталонным сопротивлением); установка изучения поглощения света в полупроводниках (монохроматор УМ-2, фотоприемник, вольтметр В7-16А, пульт питания с лампой ЭПС-112); установка измерения собственной и примесной проводимости полупроводниковых материалов (монохроматор МДР-3, вольтметр В7-138, источник питания с лампой ВК7-7); установка измерения температурной зависимости электропроводности (компьютер с лицензионным ПО, нагреватель, приставка для измерения ширины запрещенной зоны, источник питания Б5-30) |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| К-507 | Лаборатория | компьютеры со специальным программным обеспечением для расчета релаксации фотопроводимости (3 шт.); компьютер со специальным программным обеспечением для расчета концентрации носителей в соединениях А2В6; осциллограф цифровой АКИП-4116/1; лазер инфракрасный ЛТИ-101 для измерения поглощения света в полупроводниках; прибор для измерения времени жизни неравновесных носителей заряда бесконтактным ВЧ методом, комплект учебной мебели |
| Читальный зал электронных ресурсов | | комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящей лабораторной работы, блок-схемы измерительной установки, программы исследования и методических указаний по выполнению лабораторной работы. Результатом подготовки к лабораторной работе является домашняя заготовка отчета.

Курсовая работа состоит из двух частей (теоретической и расчетной).

Структура курсовой работы: Титульный лист, Задание, Содержание, Теоретическая часть, Расчетная часть, Выводы, Список использованных источников.

1) Теоретическая часть

- классификация веществ по удельной электрической проводимости;
- собственные и примесные полупроводники;
- расчет положения уровня Ферми и концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике;

- удельная электрическая проводимость полупроводников;
- зависимость подвижности носителей заряда от температуры;
- эффект Холла;
- эффект Зеебека (термоэлектрический эффект);
- теплопроводность полупроводников.

2) Расчетная часть

Рассчитать температурную зависимость, построить таблицы и графики функций:

- логарифма концентрации основных носителей заряда от обратной температуры;
- положения уровня Ферми от температуры;
- подвижности носителей заряда от температуры;
- удельной электропроводности от обратной температуры.

В конце расчетной части должна быть приведена итоговая таблица с расчетными данными для построения температурных зависимостей электрофизических параметров полупроводника.

Примерный объем курсовой работы: (25-40) стр.