

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Оптические свойства полупроводников

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Образовательная программа
03.03.02 – Физика

Профиль подготовки
Фундаментальная физика

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Вариативная

Махачкала, 2021г.

Рабочая программа дисциплины «Оптические свойства полупроводников» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки **03.03.02 – Физика**, профиль подготовки: Фундаментальная физика от 07 августа 2020г. № 891.

Разработчик(и): кафедра физики конденсированного состояния и наносистем,

доктор ф.-м.н., профессор Хамидов М.М.



Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем от « 26 » июня 2021 г., протокол № 10.

Зав. кафедрой



Рабаданов М.Х. .

Утверждена на заседании методической комиссии физического факультета от «_30_» июня 2021 г., протокол №10.

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «_9_» июля 2021 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «*Оптические свойства полупроводников*»_входит в вариативную часть образовательной программы *бакалавриата* _по направлению (специальности) 03.03.02 – физика.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с получением знаний по оптике полупроводников, необходимые для понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках при взаимодействии с электромагнитным излучением. Рассматриваются такие явления как поглощение, люминесценция, фотопроводимость, оптическая перезарядка уровней и фоторазогрев носителей заряда.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общепрофессиональных – ОПК-1 и ОПК-2 профессиональных – ПК-10, ПК-11.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Объем дисциплины **72** часа, **2** зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

| Сем естр | Учебные занятия | | | | | | СРС, в том Числе экзамен | Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, экзамен |
|-------------|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------|------------------|--|-----------------------------------|--|
| | в том числе | | | | | | | |
| | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | |
| | Всего | из них | | | | | | |
| Лекции | | Лаборат орные занятия | Практиче ские занятия | КСР | консульт ации | | | |
| 6 | 72 | 28 | - | 28 | - | | 16 | (зачет) |

1. Цели освоения дисциплины.

Цель освоения дисциплины «Оптические свойства полупроводников» - дать базовые знания по оптическим свойствам полупроводников, необходимые для понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках при взаимодействии с электромагнитным излучением, принципов работы приборов оптоэлектроники различного назначения, а также ознакомить с оптическими методами исследования полупроводниковых материалов.

Задачи дисциплины. Задачами курса является изучение основных принципов и законов оптики полупроводников и полупроводниковых структур, рассмотрение оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках: поглощение, внутренний фотоэффект, фотопроводимость, люминесценция; виды люминесценции; излучение в неоднородных изотропных и анизотропных средах; эффект Дембера, фотоэлектромагнитный эффект; фотовольтаический эффект в p-n переходах.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Оптические свойства полупроводников» входит в блок **Б1.В.ДВ.03.04** образовательной программы (ФГОС ВО) бакалавриата по направлению **03.03.02**– «Физика», профиля подготовки «Фундаментальная физика».

Для успешного освоения дисциплины необходимо знание всех курсов общей физики, электродинамику, физику полупроводников (основы зонной теории, основы статистики электронов и дырок), статистическую физику; основы квантовой теории. Кроме того для освоения данного курса полезны такие дисциплины как «Введение в физику

полупроводников», «Метрология и стандартизация».

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

| Код и наименование компетенции из ФГОС ВО | Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответ. с ОПОП) | Планируемые результаты обучения | Процедура освоения |
|---|---|--|---------------------|
| <p>ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности</p> | <p>ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира</p> | <p>Знает: - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники. Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научнотехническую литературу с учетом зарубежного опыта. Владет: - навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.</p> | <p>Устный опрос</p> |
| | <p>ОПК-1.2. Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области</p> | <p>Знает: - основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; - новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности. Умеет: - реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и</p> | <p>Устный опрос</p> |

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
| | <p>профессиональной деятельности</p> | <p>прикладных задач в области профессиональной деятельности.</p> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности | |
| | <p>ОПК-1.3. Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.</p> | <p>Знает: - основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы.</p> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценить эффективность выбранного метода. | <p>Устный опрос</p> |
| <p>ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</p> | <p>ОПК-2.1. Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу исследования.</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики, а также смежных областей науки и техники. - принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки. <p>Владеет: - навыками формулировать конкретные темы исследования,</p> | <p>Устный опрос</p> |

| | | | |
|--|--|---|--------------|
| | | планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи. | |
| | <p>ОПК-2.2.</p> <p>Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает и проводит исследования.</p> | <p>Знает:</p> <p>- современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств.</p> <p>Умеет:</p> <p>- предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач; - самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</p> <p>Владеет:</p> <p>- навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</p> | Устный опрос |
| | <p>ОПК-2.3.</p> <p>Анализирует, интерпретирует, оценивает, представляет и защищает результаты выполненного исследования с обоснованным и выводами и рекомендациями.</p> | <p>Знает:</p> <p>- основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования; - передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования.</p> <p>Умеет:</p> <p>- использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе.</p> <p>Владеет:</p> <p>- навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.</p> | Устный опрос |

| | | | |
|--|---|---|---------------------|
| <p>ПК-10 Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.</p> | <p>ПК-10.1. Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.</p> | <p>Знает: основные физические явления и основные принципы квантовой теории, границы их применения и применение принципов в важнейших практических приложениях; основные физические величины и константы теоретической физики, их определения, смысл, способы и единицы измерения; фундаментальные физические эксперименты в области исследования оптики полупроводников с и их роль в развитии науки.</p> <p>Умеет: объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления, эффекты и точки зрения фундаментальных физических взаимодействий; указать какие законы описывают то или иное явление (эффект); интерпретировать смысл физических величин и понятий; использовать методы адекватного физического и математического моделирования и методы теоретического анализа к решению конкретных проблем.</p> <p>Владеет: навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях; навыками применения основных методов теоретического анализа связи оптического поглощения с свойствами полупроводников</p> | <p>Устный опрос</p> |
| | <p>ПК-10.2. Владеет специальными знаниями в области теоретической механики и</p> | <p>Знает: основные законы динамики материальной точки и системы материальных точек; основные законы движения материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета; колебания систем со многими степенями свободы и их</p> | <p>Устный опрос</p> |

| | | | |
|--|--|---|---------------------|
| | <p>электродинамики оптики</p> | <p>основные характеристики; законы и принципы аналитической механики, электродинамики, оптики</p> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить теоретические оценки (расчеты) спектральных характеристик поглощения конденсированных сред • определять пределы возможности принятых теоретических моделей при интерпретации свойств конденсированных сред обусловленных эффектом поглощения <p>Владет:</p> <p>основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики, оптики в практических приложениях; методами использования основных методов теоретического анализа для решения задач, связанных с процессами оптического поглощения.</p> | |
| | <p>ПК-10.3. Применяет методы математической физики для постановки и решения задач в профессиональной деятельности</p> | <p>Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p>Умеет: понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p>Владет: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации.</p> | <p>Устный опрос</p> |
| | <p>ПК-10.4. Способен использовать</p> | <p>Знает: Основные модели и приближения, в частности соотношения Онсагера и</p> | <p>Устный опрос</p> |

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
| | <p>основные методы теоретической физики.</p> | <p>Пригожина, возможности применения этих законов и принципов для понимания сути явлений переноса; основные стандарты, формы, правила составления научной документации и их отдельные особенности.</p> <p>Умеет: критически оценивать следствия тех или иных решений, открытий в теоретической физике, на дальнейший ход развития науки в целом; применять знания, полученные при изучении теоретической физики, для решения конкретных физических задач; составлять доклады для выступления на различных форумах, заседаниях, семинарах.</p> <p>Владет: возможностью применять методы теоретической физики для формирования общих взглядов на характер науки, научных исследований; типовыми методологиями, приемами, технологиями, применяемыми при написании, составлении обзоров проведенных научных исследований; существующими методами, законами теоретической физики, которые можно применить для решения задач в различных областях человеческой деятельности</p> | |
| <p>ПК-11 Способен понимать теорию и методы исследования физики конденсированного состояния</p> | <p>ПК-11.1. Базовые теоретические знания по физике конденсированного состояния из фундаментальных разделов</p> | <p>Знает: типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; .</p> <p>Умеет: оценивать тип связи в конденсированных средах согласно их классификации – металлы</p> | <p>Устный опрос</p> |

| | | | |
|----------|---|---|--------------|
| вещества | общей и теоретической физики; | полупроводники и диэлектрики; строить зонные модели материалов. Владеет: знаниями об энергии взаимодействия между атомами для различных типов связей; знаниями по расшифровке энергетических схем и моделей | |
| | ПК-11.2. Физические основы и природа кристаллических классов и пространственных групп. | Знает: принципы формирования структуры и элементы кристаллофизики: типы кристаллических решеток; сингонии; плотность упаковки элементарных ячеек; виды дефектов в кристаллах; методы дифракционного анализа. Умеет: определять типы кристаллических решеток, направления и плоскости решеток; определять элементы симметрии; плотность упаковки элементарных ячеек; расшифровывать результаты дифракционного анализа. Владеет: знаниями об идеальных и реальных структурах; методами определения направления и плоскости решеток, а так же элементов симметрии; методами оценки плотности упаковки элементарных ячеек; методами дифракционного анализа | Устный опрос |
| | ПК-11.3. Современные представления о формировании физических свойств конденсированных сред. | Знает: формирование зарядовых возбуждений и их релаксацию; процессы формирования равновесных и транспортных свойств; температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред; связь структуры с механическими электрическими, тепловыми, магнитными и оптическими свойствами. | Устный опрос |

| | | | |
|--|---|---|--------------|
| | | <p>Умеет: оценивать параметры зарядовых возбуждений и их релаксации при формировании транспортных свойств; интерпретировать температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред.</p> <p>Владеет: методами оценки параметров температурных зависимостей электрических и тепловых свойств конденсированных сред по экспериментальным данным; методами теоретической оценки параметров, электрических и оптических, процессов формирования равновесных и транспортных свойств; методами интерпретации связи структуры с оптическими, свойствами.</p> | |
| | <p>ПК-11.4. Особенности свойств в мономикросталлических, керамических и наноматериалах</p> | <p>Знает: физику отличительных особенностей формирования оптических свойств твердых тел и низкоразмерных систем</p> <p>Умеет: Интерпретировать особенности оптических свойств нанноразмерных и кристаллических систем,</p> <p>Владеет: Способами оценки оптических свойств твердых тел и наноструктурированных материалов.</p> | Устный опрос |

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, **72** академических часа.

| № пп | Раздел дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма |
|--|---|---------|--------------------|--|-----------|---------|--------------|--|
| | | | | лекц | пр. | ла б | сам. Раб. | |
| Модуль 1 Зонная теория. Поглощение света | | | | | | | | |
| 1 | Введение. Зонная теория Поглощение света полу- проводниками. Механизмы поглощения | 6 | 1-4 | 6 | 6 | | 4 | устный опрос |
| 2 | Люминесценция. Типы люминесценции | 6 | 5-7 | 4 | 4 | | 2 | |
| 3 | Фотопроводимость полупроводников. | 6 | 8-9 | 4 | 4 | | 2 | |
| | Итого за модуль 1: 36 | | | 14 | 14 | | 8 | экспресс- тестирование |
| Модуль 2. Механизмы фотоэффектов, светодиоды, лазеры. | | | | | | | | |
| 4 | Собственная фотопро- водимость. Примесная фотопроводимость. | 6 | 10- 11 | 4 | 2 | | 2 | устный опрос, экспресс- тестирование |
| 5 | Влияние ловушек на кинетические параметры | 6 | 12- 13 | 2 | 2 | | 2 | |
| 6 | Эффект Дембера Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах | | 14- 15 | 4 | 4 | | 2 | |
| 7 | Светодиоды. Инжекционные лазеры | 6 | 16- 17 | 4 | 6 | | 2 | |
| 8 | Итого за модуль 2: 36 | | | 14 | 14 | | 8 | |
| | Итого за дисциплину : 72 | | | 28 | 28 | | 16 | Зачет |

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1. Зонная теория. Поглощение света

Тема 1. Зонная теория. Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения
Уравнение Шредингера. Классификация тел по зонной модели. Виды взаимодействия света с твердым телом; оптические константы. Спектр поглощения и спектр отражения оптического излучения. Энергетические состояния в полупроводниковых кристаллах. Собственное поглощение света, прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение, поглощение свободными носителями заряда, примесное и решеточное поглощение. Поглощение сильно легированных и аморфных полупроводников.

Тема 2. Люминесценция полупроводников. Типы люминесценции.

Определение Вавилова. Типы люминесценции. Рекомбинационное излучение

в полупроводниках. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные центры. Экситонная рекомбинация. Релаксация люминесценции в полупроводниках. Тушение люминесценции.

Тема 3. Фотопроводимость полупроводников. Релаксация.

Фотопроводимость полупроводников, ее классификация: примесная, собственная, прыжковая фотопроводимости. Условия их наблюдения и различия. Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости.

Модуль 2. Механизмы фотоэффектов, светодиоды, лазеры.

Тема 4. Собственная фотопроводимость. Примесная фотопроводимость.

Времена жизни носителей и времена релаксации фотопроводимости. Спектральная зависимость фотопроводимости. Основные механизмы рекомбинации носителей заряда и температурная зависимость примесной фотопроводимости.

Тема 5. Влияние ловушек на кинетические параметры

Оптическая перезарядка локальных уровней в запрещенной зоне при собственном и примесном возбуждении неравновесных носителей заряда. Влияние оптической перезарядки на подвижность носителей заряда и на времена их жизни, на спектральные зависимости поглощения и фотопроводимости. Фотоэлектрические эффекты, обусловленные оптической перезарядкой уровней.

Тема 6. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах

Эффект Дембера в однородных и неоднородных полупроводниках. Фотоэлектромагнитный эффект, условия его наблюдения. Фотовольтаический эффект в р-п переходах, условия его наблюдения. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников.

Тема 7. Светодиоды. Инжекционные лазеры.

Условие возникновения излучения в р-п переходе. Спонтанное и вынужденное излучение. Вырожденный полупроводник. Создание инверсной заселенности уровней зон в р-п переходах с использованием вырожденных полупроводников.

5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «Оптические свойства полупроводников» применяются следующие образовательные технологии:

- Интерактивное обучение (моделирующие компьютерные программы, виртуальные учебные комплексы), мультимедийное обучение (презентации, моделирование и симуляция процессов и объектов).
- Внеаудиторная самостоятельная работа студентов.
- Промежуточная аттестация знаний студентов.

Для освоения дисциплины используются электронные базы учебно-методических ресурсов, электронные библиотеки.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, с использованием современных информационных технологий обучения и демонстрации в учебном процессе составляет не менее 70% лекционных занятий.

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

1. Информационные технологии.
2. Проблемное обучение.
3. Индивидуальное обучение.
4. Междисциплинарное обучение.

5. Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций при изучении дисциплины «Оптические свойства полупроводников» используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, семинар, лабораторные работы, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

Самостоятельная работа студентов, предусмотрена учебным планом в объеме не менее 50%, в том числе подготовка к экзаменам и зачетам, от общего количества часов. Она необходима для более глубокого усвоения изучаемого курса, формирования навыков исследовательской работы и умение применять теоретические знания на практике. Самостоятельная работа должна носить систематический характер. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- повторения пройденного материала;
- подготовки к лабораторно-практическим работам;
- оформления лабораторно-практических работ (заполнение таблиц, решение задач, написание выводов);
- подготовки к контрольным работам;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины.

| Вид самостоятельной работы | Примерная трудоёмкость, а.ч. | | |
|--|------------------------------|--------------|---------|
| | Очная | Очно-заочная | заочная |
| Текущая СРС | | | |
| работа с лекционным материалом, с учебной литературой | 6 | | |
| самостоятельное изучение разделов дисциплины | 4 | | |
| подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям | 10 | | |
| подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам | 2 | | |
| Итого СРС: 22 часа | 22 | | |

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Типовые контрольные задания

7.1.1. Контрольные вопросы

1. Различие металлов, полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории.
2. Что представляет собой энергетический спектр электронов в кристалле?

3. Понятие о собственных и примесных полупроводниках.
4. Функция распределения электронов.
5. В чем состоят явления генерации и рекомбинации носителей заряда?
6. Электропроводность полупроводников. Понятие о подвижности носителей.
7. Явление внутреннего фотоэффекта в полупроводниках.
8. Как образуются избыточные носители тока в полупроводниках под действием квантов света?
9. Что такое "темновая" электропроводность полупроводника?
10. Возможные типы переходов электронов при поглощении квантов света.
11. Характер зависимости фототока от светового потока, падающего на фотосопротивление (световая характеристика).
12. Метод исследования вольтамперных и световых характеристик фотосопротивлений в данной работе.
13. Каков физический смысл коэффициента поглощения?
14. Виды оптического поглощения в полупроводниках.
15. Понятие о прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
16. Прямые переходы. Диаграмма взаимодействия и законы сохранения для прямых переходов.
17. Непрямые переходы. Диаграмма взаимодействия и законы сохранения для непрямых переходов.
18. Форма края собственного поглощения при прямых переходах.
19. Форма края собственного поглощения при непрямых переходах.
20. Люминесценция полупроводников.
21. Укажите область энергий фотонов, в которой обнаруживаются непрямые переходы в непрямозонном полупроводнике.
22. Какую информацию можно получить из исследований спектров собственного поглощения?
23. Как определить тип оптических переходов в полупроводнике?
24. Что такое оптическая плотность?
25. Как из измерений пропускания рассчитать коэффициент поглощения?
26. Закон Бугера - Ламберта.
27. Что такое внешний фотоэффект
28. Внутренний фотоэффект.
29. Удельная фоточувствительность.
30. Что связывают соотношения Крамерса-Кронига.
31. Что такое коэффициент, пропускания, поглощения.
32. Как выглядит релаксация фотопроводимости при малом уровне возбуждения.
33. В чем отличие поперечной ЭДС в фотоэлектромагнитном эффекте от ЭДС Холла.
34. Почему спектр излучения более узкий, чем спектр поглощения.
35. Виды люминесценции.
36. Принцип работы светодиода.
37. Спонтанное и вынужденное излучение.
38. Принцип работы инжекционного лазера

7.1.2 Темы практических и семинарских занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела дисциплины |
|-------|---------------------------------|-------------------------------|
|-------|---------------------------------|-------------------------------|

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Основы зонной теории. Поглощение света полупроводниками. | Зонная модель полупроводников. Зона проводимости и валентная зона. Распространение света в полупроводниках. Соотношение Крамерса-Кронига. Уравнение поглощения. Виды поглощения. Форма края основного поглощения в прямозонном и непрямозонном полупроводнике. Влияние внешних факторов на край основного оптического поглощения. Примесное |
| 2 | Люминесценция полупроводников. Виды люминесценции | Виды излучательных процессов. Межзонная рекомбинация. Зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда от положения уровня Ферми, температуры и уровня возбуждения. Примесное излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. |
| 3 | Фотопроводимость полупроводников. Релаксация. | Фоторезистивный эффект. Собственная и примесная фотопроводимости. Биполярная и монополярная фотопроводимости. Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости. |
| 4 | Собственная фотопроводимость. Примесная фотопроводимость и ее особенности. Спектральные распределения. | Спектральная зависимость собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации. Температурная зависимость собственной фотопроводимости. Особенности примесной фотопроводимости. Примесная фотопроводимость, связанная с одним типом уровней. Основные механизмы |
| 5 | Влияние ловушек на кинетические параметры | Влияние уровней прилипания на стационарную фотопроводимость и стационарные времена жизни электронов и дырок. Температурное и ИК гашение фотопроводимости и люминесценции. Оптическая перезарядка примесных центров и кинетика примесной фотопроводимости. Влияние перезарядки на кинетику примесной |
| 6 | Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фото-вольтаический эффект в р-п переходах | Эффект Дембера в полупроводниках. Физическое описание фотоэлектромагнитного эффекта. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников. Особенности фотовольтаических эффектов в р-п переходах. Токи короткого замыкания и ЭДС |
| 7 | Светодиоды. Инжекционные лазеры. | Физический принцип работы светодиодов. Механизмы рекомбинационных процессов. Условие возникновения вынужденного излучения в полупроводниковых |

7.1.3. Вопросы для самостоятельной работы бакалавров

| п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела дисциплины | Труд. емк. |
|-----|---------------------------------|-------------------------------|------------|
|-----|---------------------------------|-------------------------------|------------|

| | | | |
|---|--|---|-----------|
| 1 | Основы зонной теории. Поглощение света полупроводниками. | Энергетические структуры основных полупроводников. Взаимодействие электромагнитного излучения с твердым телом. Механизмы поглощения света в твердых телах. | 4 |
| 2 | Люминесценция полупроводников. Виды люминесценции | Виды люминесценции. Механизмы излучательной рекомбинации. Спектральное распределение рекомбинационного излучения. | 2 |
| 3 | Фотопроводимость полупроводников. Релаксация. | Центры рекомбинации и центры прилипания. Влияние центров прилипания на релаксацию неравновесной проводимости. Кривые релаксации. | 2 |
| 4 | Собственная фотопроводимость. Примесная проводимость и ее особенности. Спектральные распределения. | Спектральная зависимость собственной фотопроводимости. Температурная зависимость собственной фотопроводимости. Особенности примесной проводимости. Индуцированная примесная фото- | 2 |
| 5 | Влияние ловушек на кинетические параметры | Термостимулированная проводимость. Отрицательная фотопроводимость | 4 |
| 6 | Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фото-вольтаический эффект в р-п переходах | Полупроводниковые преобразователи солнечной энергии | 4 |
| 7 | Светодиоды. Инжекционные лазеры. | Инжекционные лазеры и светодиоды на основе гетеропереходов | 4 |
| | Итого | | 22 |

7.1.4. Тесты для текущего и промежуточного контроля

1. Поглощение. Уравнение Бугера-Ламберта.

Поглощение электромагнитных волн определяется следующим уравнением

$$1) J = J_0 e^{-kx} \quad 2) J = J_0 e^{-kx} \quad 3) J = J_0 kx$$

$$4) J = -J_0 kx, \text{ где } k - \text{ коэффициент поглощения.}$$

2. Собственное поглощение:

1. В результате собственного поглощения электрон из валентной зоны переходит в зону проводимости только с сохранением волнового вектора.
2. В результате собственного поглощения электроны из валентной зоны переходят на примерный уровень.
3. Собственное поглощение осуществляется только для собственных полупроводников.
4. Собственное поглощение приводит к переходу электронов на более высокий энергетический уровень в валентной зоне.
5. Собственное поглощение приводит к переходу электронов на более высокий энергетический уровень в зоне проводимости.

3. Экситонное поглощение

1. При экситонном поглощении в зоне проводимости возникают электроны из акцепторных уровней.
 2. При экситонном поглощении в зоне проводимости возникают электроны из донорных уровней.
 3. При экситонном поглощении в зоне проводимости возникают электроны из валентной зоны.
 4. При экситонном поглощении не возникают свободные электроны и дырки.
 5. Экситонное поглощение и поглощение свободными носителями одно и то же.
4. Поглощение света свободными носителями заряда
1. Это поглощение света вследствие передачи энергии (и импульса) от фотонов к электронам, приводящее к ионизации соответствующих примесных центров.
 2. При этом свободные электроны переходят на более высокие уровни в зоне проводимости и кристалл охлаждается.
 3. При этом свободные электроны переходят на более высокие уровни в зоне проводимости и кристалл разогревается.
 4. При этом поглощении возникает примесная фотопроводимость.
5. Поглощение света кристаллической решеткой:
1. Поглощение света кристаллической решеткой происходит в результате взаимодействия электромагнитного поля световой волны с движущимися зарядами узлов решетки.
 2. Это поглощение наблюдается в том случае, когда энергия поглощаемого фотона затрачивается на переброс электрона из дна валентной зоны на дно зоны проводимости.
 3. Когда в результате этого поглощения появляются носители заряда одного типа.
 4. При этом поглощении спектр поглощения лежит в коротковолновой области.
6. Фотопроводимость
1. При собственной фотопроводимости и концентрации неравновесных носителей возрастают следующим образом: $\Delta n = \Delta p = \beta k J t$, где β - квантовый выход, k - коэффициент поглощения, J - интенсивность света, t - время освещения.
 2. $\Delta n = \beta k J \tau_n$, где τ_n - время жизни электронов.
 3. или $\Delta n = e \mu_n \beta k J \tau_n$, где τ_n и μ_n - время жизни и подвижность электронов в полупроводнике.
 4. $\Delta n = N_c e^{\frac{F}{kT}}$, F - уровень Ферми, N_c - эффективная плотность электронов в зоне проводимости.
7. Время жизни неравновесных носителей определяется так:
1. $\tau_n = \frac{1}{q_n v_n p}$, где q_n, v_n, p - соответственно сечение захвата, относительная скорость движения электрона и дырок, концентрация дырок.
 2. $\tau_n = q_n v_n p$
 3. $\tau_n = e^{q_n v_n p}$
 4. $\tau_n = \frac{P}{q_n v_n}$
8. Релаксация фотопроводимости определяется:
1. Временем жизни носителей τ (τ_n и τ_p);
 2. Наличием ловушек (малой и высокой концентрации)

3. Шириной зоны проводимости
 4. Энергией ионизации.
9. На монополярную фотопроводимость влияют:
1. α -центры прилипания
 2. Демаркационные центры прилипания
 3. Только β -центры прилипания
 4. Центры рекомбинации.
10. Какую роль играет постоянная подсветка на релаксацию фотопроводимости при наличии α - прилипания:
1. Увеличение постоянной подсветки приводит к увеличению роли α прилипания, т.е. к уменьшению β и τ ;
 2. Увеличение постоянной подсветки приводит к уменьшению α , что увеличивает β и τ ;
 3. Не оказывает никакого влияния
 4. Увеличение подсветки приводит к приближению наклона второго участка к первому.
11. Каковы особенности при монополярной фотопроводимости:
1. Монополярная фотопроводимость бывает только электронной;
 2. Монополярная фотопроводимость бывает только дырочной;
 3. Монополярная фотопроводимость бывает только примесной;
 4. Монополярная фотопроводимость бывает и электронной и дырочной одновременно.
12. При излучательной рекомбинации свободных электронов и дырок:
1. $\tau_n = \tau_p$ 2) $\tau_n > \tau_p$ 3) $\tau_n < \tau_p$ 4) $\tau_n \gg \tau_p$
13. Критерий монополярности примесной фотопроводимости;
1. $\frac{\Delta n}{\Delta p} \gg 1$ или $\frac{\Delta p}{\Delta n} \gg 1$ 2) $\frac{\Delta n}{\Delta p} = 1$
 2. $\Delta n + \Delta m = \Delta p$ 4) $\frac{m_0^2}{\mu P_{g\mu}} \gg 1$
14. Индуцированная примесная фотопроводимость
1. обусловлена только наличием уровней прилипания
 2. перебросом электронов из валентной зоны в зону проводимости светом, а последующим их захватом примесными уровнями
 3. захватом электронов из зоны проводимости
 4. уменьшением рекомбинации электронов и дырок.
15. Длина экранирования Дебая (дебаевский радиус экранирования) $\ell_D = \sqrt{\frac{\epsilon kT}{8\pi e^2 n_0}}$
- указывает на эффективную длину, при которой:
1. концентрация неравновесных носителей возрастает пропорционально этой длине;
 2. Спадает обратно пропорционально ей
 3. Спадает экспоненциально по мере удаления границы света
 4. Растет квадратично по мере возрастания эффективной длины.
16. ЭДС Дембера возрастает в результате:
1. Однородного возбуждения однородного полупроводника;
 2. Неоднородного возбуждения однородного полупроводника;
 3. Однородного возбуждения однородно легированного полупроводника
 4. Однородного собственного возбуждения полупроводника.
17. Фотомагнитоэлектрический эффект Кикоина-Носкова состоит:

1. В возникновении поперечной разности потенциалов в постоянном магнитном поле при облучении полупроводника светом.
2. В возникновении продольной разности потенциалов в постоянном магнитном поле при облучении полупроводника светом.
3. В возникновении продольной разности потенциалов в постоянном магнитном поле при облучении однородного полупроводника светом из области собственного поглощения.

Правильные ответы

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Вопросы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Ответы | 2 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Лекции – Текущий контроль включает:

- посещение занятий 10 бал.
- активное участие на лекциях 15 бал.
- устный опрос, тестирование, коллоквиум 60 бал.
- и др. (доклады, рефераты) 15 бал.

Практика - Текущий контроль включает:
(от 51 и выше - зачет)

- посещение занятий 10 бал.
- активное участие на практических занятиях 15 бал.
- выполнение домашних работ 15 бал.
- выполнение самостоятельных работ 20 бал.
- выполнение контрольных работ 40 бал.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-балльную систему:

- «0 – 50» баллов – неудовлетворительно
- «51 – 65» баллов – удовлетворительно
- «66 - 85» баллов – хорошо
- «86 - 100» баллов – отлично

«51 и выше» баллов – зачет учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) адрес сайта: Сайт кафедры физики конденсированного состояния и наносистем: <http://cathedra.dgu.ru/Default.aspx?id=1503>

б) Основная литература:

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
2. К. В. Шалимова. Физика полупроводников. М., Энергоатомиздат, 1985.
3. Н. Ашкрофт. Физика твёрдого тела : - М. : Мир, 1979.
4. А. С. Давыдов, Теория твердого тела : - М. : Наука, 1976. - 640 с.

5. Дж.Вайман, Принципы теории твёрдого тела - М. : Мир, 1974. - 472 с.
6. А. А. Кацнельсон, Введение в физику твёрдого тела : пособие для студ. физ. спец. ун-тов - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984. - 294 с
7. А.Г.Гуревич, Физика твёрдого тела : [учеб.пособие для физ. специальностей ун-тов и техн. ун-тов] Физ.-техн. ин-т им. А.Ф.Иоффе РАН. - СПб. : Нев. диалект: БХВ-Петербург, 2004- 318с.

Дополнительная литература:

1. В. И. Зиненко, Основы физики твёрдого тела : учеб.пособие для вузов : Физматлит, 2001. - 336 с.
2. Ю.Питер. Основы физики полупроводников : Пер. с англ. под ред. П.Захарчени. - М. :Физматлит, 2002. - 560 с
3. В.Павлов. Физика твёрдого тела : учеб. для вузов по направлению "Физика" и др. М. : Высшая школа, 2000 - 493с.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Международная база данных Scopus по разделу физика полупроводников <http://www.scopus.com/home.url>
2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier по тематике физика полупроводников <http://www.sciencedirect.com/>
3. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук www.ufn.ru
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. Ресурсы МГУ www.nanometer.ru.
7. Методы получения наноразмерных материалов/ курс лекций и руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург. 2007.
8. http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp_sost_SS.pdf
9. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>.
10. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
11. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредитации (<http://www.fepo.ru/>)
12. <http://www.nanometer.ru/lecture.html?id=165151&UP=156195&TP=USER>

Интернет-ресурсы

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/> Лицензионный договор № 5783/19 от 01.10.2019 об оказании услуг по предоставлению доступа на электронно-библиотечную систему «ЭБС IPRbooks.ru» (бессрочно)
2. Доступ к электронной библиотеке на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение).
3. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Обновление согласно лицензионному соглашению № 844 от 01.08.2019 г. до 01.08.2024 . (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
5. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
6. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
7. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>

8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. Федеральный центр образовательного законодательства <http://www.lexed.ru>
10. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
11. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
12. Springer. Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ предоставлен на неограниченный срок.
13. SCOPUS <https://www.scopus.com> Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору №Scopus/ № Scopus /73 от 9 октября 2019 годаг. Договор действует с момента подписания (*доступ будет продлен*).
14. Web of Science - webofknowledge.com Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Договор действует с момента подписания по 30.03.2017г. (*доступ будет продлен*)
15. «Pro Quest Dissertation Theses Global» (PQDT Global). - база данных зарубежных – диссертации. Доступ продлен согласно сублицензионному договору № ProQuest/73 от 01 апреля 2017 года <http://search.proquest.com/>. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
16. Sage - мультидисциплинарная полнотекстовая база данных. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № Sage/73 от 09.01.2017 <http://online.sagepub.com/> Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
17. American Chemical Society. Доступ продлен на основании сублицензионного договора №ACS/73 от 09.01.2017 г. pubs.acs.org Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
18. Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № 01.08.2017г. Договор продлен с 04. 10. 21.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень вопросов, включенных в рабочую программу дисциплины, может быть дополнен отдельными разделами из последних научных достижений в данной области, отраженных в современных обзорах, опубликованных в журналах «Успехи физических наук», «Физика и техника полупроводников», «Физика твердого тела», «Оптика и спектроскопия», «Неорганические материалы», Материалы Международных конференций по опто-, наноэлектронике, нанотехнологии и микросистемам и физической электронике и др.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.

2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

1. Закрепление теоретического материала и приобретение практических навыков исследования свойств и обработки данных обеспечивается в последующем в лабораториях при проведении Специального физического практикума (Б1.В.ОД.16). При проведении занятий используются лаборатории, оснащенные современным технологическим и измерительным оборудованием.
2. При изложении теоретического материала используется лекционная аудитория, оснащенная проекционным оборудованием и интерактивной доской. Кафедра располагает необходимыми установками, технологическим оборудованием, приборами, не только для выполнения специального физического практикума, но и выполнения соответствующих курсовых и диссертационных работ. Имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копии периодических изданий и т. д.