



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Оптические свойства полупроводников**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем физического факультета

Образовательная программа бакалавриата

**03.03.02 – Физика**

Направленность (профиль) программы:

**Фундаментальная физика**

Форма обучения:

**Очная**

Статус дисциплины:

**дисциплина по выбору**

**Махачкала 2022**

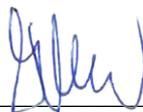
Рабочая программа дисциплины «Оптические свойства полупроводников» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки **03.03.02 – Физика** от «07» августа 2020 г. № 891.

Разработчик: кафедра физики конденсированного состояния и наносистем, доктор ф.-м.н., профессор Хамидов М.М.



Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физика конденсированного состояния и наносистем от 19. 03. 2022 г. протокол № 7

Зав. кафедрой



Рабаданов М.Х.

на заседании Методической комиссии физического факультета от от 23. 03. 2022 г. протокол № 7

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«\_31»\_03\_2022 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Оптические свойства полупроводников» входит формируемую участниками образовательных отношений часть ОПОП бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 – Физика, профиля подготовки «Фундаментальная физика».

Дисциплина входит в блок Б1.В.ДВ.03.04 и 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

Семестр	Учебные занятия						СРС, в том числе зачет	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе зачет		
	Всего	из них						
Лекции		Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации			
6	<b>72</b>	<b>28</b>		<b>28</b>			<b>16</b>	зачет

#### 1. Цели освоения дисциплины.

Цель освоения дисциплины «Оптические свойства полупроводников» - дать базовые знания по оптическим свойствам полупроводников и направлена формирование у студентов системы знаний по физике конденсированного состояния, общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 - Физика.

В результате изучения данной дисциплины студенты приобретают необходимые знания 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.

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 р-п переходах.

#### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Оптические свойства полупроводников» входит в часть, формируемую

участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) ОПОП бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 – 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 ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира	<b>Знает:</b> - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники. <b>Умеет:</b> - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научнотехническую литературу с учетом зарубежного опыта. <b>Владеет:</b> - навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.	Устный опрос
	ОПК-1.2. Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения	<b>Знает:</b> - основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; - новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности. <b>Умеет:</b>	Устный опрос

	теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности	- реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности. <b>Владеет:</b> - навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности	
	<b>ОПК-1.3.</b> Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.	<b>Знает:</b> - основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы. <b>Умеет:</b> - выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата. <b>Владеет:</b> - навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность выбранного метода.	Устный опрос
<b>ОПК-2</b> Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	<b>ОПК-2.1.</b> Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу исследования.	<b>Знает:</b> - 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. <b>Умеет:</b> - самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их	Устный опрос

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

		формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.	
<b>ПК-10</b> Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.	<b>ПК-10.1.</b> Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.	<b>Знает:</b> 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 частиц и волн, и их роль в развитии науки. <b>Умеет:</b> 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. <b>Владеет:</b> навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях; навыками применения основных методов теоретического анализа связи электро- и тепло сопротивления с тепловым расширением.	Устный опрос
	<b>ПК-10.2.</b> Владеет специальными	<b>Знает:</b> основные законы динамики материальной точки и системы материальных точек; основные	Устный опрос

	<p>знаниями в области теоретической механики и электродинамики</p>	<p>законы движения материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета; колебания систем со многими степенями свободы и их основные характеристики; законы и принципы аналитической механики, электродинамики.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводить теоретические оценки (расчеты) спектральных зависимостей оптических свойств (собственная, примесная и индуцированная примесная фотопроводимость) а также, термостимулированной проводимости);</li> <li>• определять энергию активации и концентрацию и глубину залегания примесных центров;</li> </ul> <p><b>Владет:</b></p> <p>основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики в практических приложениях; методами использования основных методов теоретического анализа для решения задач, связанных с процессами происходящими при взаимодействии электромагнитного излучения с полупроводниками.</p>	
	<p><b>ПК-10.3.</b> Применяет методы математической физики для постановки и решения задач в профессиональной деятельности</p>	<p><b>Знает:</b> теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p><b>Умеет:</b> понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p><b>Владет:</b></p>	<p>Устный опрос</p>

		методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации.	
	<b>ПК-10.4.</b> Способен использовать основные методы теоретической физики.	<p><b>Знает:</b> Основные модели и приближения, в частности соотношения Онсагера и 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><b>Умеет:</b> 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><b>Владеет:</b> 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.</p>	Устный опрос
<b>ПК-11</b> Способен понимать теорию и	<b>ПК-11.1.</b> Базовые теоретические знания по	<b>Знает:</b> типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и	Письменный опрос

<p>методы исследования физики конденсированного состояния вещества</p>	<p>физике конденсированного состояния из фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</p>	<p>диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; диаграммы состояния многоатомных материалов.  <b>Умеет:</b>  Определять глубину залегания примесных центров прилипания в полупроводниках; оценивать характеристические параметры по кривым ТСП; времена жизни носителей и времена релаксации фотопроводимости.  <b>Владеет:</b>  знаниями о видах взаимодействия света с твердым телом; энергетических состояниях в полупроводниковых кристаллах; прямых и не прямых переходах; экситонном поглощении.</p>	
	<p><b>ПК-11.3.</b>  Современные представления о формировании физических свойств конденсированных сред.</p>	<p><b>Знает:</b>  формирование зарядовых возбуждений и их релаксацию; процессы формирования равновесных и транспортных свойств; основные механизмы рекомбинации носителей заряда; формирование температурной зависимости примесной фотопроводимости.  <b>Умеет:</b>  оценивать параметры, характеризующие глубокие и мелкие центры прилипания; интерпретировать спектральные зависимости поглощения и фотопроводимости полупроводников.  <b>Владеет:</b>  методами оценки параметров, характеризующих фотоэлектрические эффекты, обусловленные оптической перезарядкой уровней.</p>	<p>Устный опрос</p>
	<p><b>ПК-11.4.</b>  Особенности</p>	<p><b>Знает:</b> условия возникновения излучения в р-п переходе;</p>	<p>Устный опрос</p>

	свойств в монокристаллических, керамических и наноматериалах	температурное и ИК гашение фотопроводимости и люминесценции; физику отличительных особенностей формирования свойств в моно- и микрокристаллических, а также наноразмерных полупроводниках <b>Умеет:</b> Интерпретировать особенности оптических свойств микрокристаллических, а также наноразмерных полупроводников. <b>Владеет:</b> Способами оценки влияния ловушек на кинетические параметры микрокристаллических, а также наноразмерных полупроводников.	
--	--	--	--

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

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

#### 4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины по модулям	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (в часах)					Самостоятельная работа в г.ч. зачет,	Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	...	Самостоятельная работа в г.ч.		
<b>Модуль 1. Основы зонной теории</b>									
1	Тема 1. Введение. Зонная теория Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения	6	4	4			4	Устный и письменный опрос  контрольная работа тест	
2	Тема. 2. Люминесценция. Типы люминесценции		5	5			2		
3	Тема 3. Фотопроводимость полупроводников.	6	5	5			2		
	Итого по модулю 1: 36 часов	6	14	14			8		
<b>Модуль 2. Механизмы фотоэффектов, светодиоды, лазеры</b>									
4	Тема. 1. Собственная фотопроводимость. Примесная	6	4	4			2	Устный и письменный опрос	

	фотопроводимость.							
5	Тема 2. Влияние ловушек на кинетические параметры	6	2	2			2	Устный опрос
6	Тема 3. Эффект Дембера Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах	6	4	4			2	тест
7	Тема 4. Светодиоды. Инжекционные лазеры	6	4	4			2	тест
	Итого по модулю 2: 36 часов	6	14	14			8	
	<b>Итого по дисциплине: 72 часа</b>		<b>28</b>	<b>28</b>			<b>16</b>	<b>зачет</b>

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

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

##### Модуль 1. Основы зонной теории

##### 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 фотозффектов, 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 p-n переходах*

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

**Тема 7.** *Светодиоды. Инжекционные лазеры.*

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

### ***4.3.2. Содержание практических занятий по дисциплине***

#### ***Модуль 1. Основы зонной теории***

**Тема 1.** 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.

**Тема 2.** 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.

**Тема 3.** Фоторезистивный эффект. Собственная и примесная фотопроводимости. Биполярная и монополярная фотопроводимости. Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости.

#### ***Модуль 2. Механизмы фотоэффектов, светодиоды, лазеры.***

**Тема 4.** 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 проводимости.

**Тема 5.** 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

**Тема 6.** Эффект Дембера в полупроводниках. Физическое описание фотоэлектромагнитного эффекта. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников. Особенности фотовольтаических эффектов в p-n переходах. Токи короткого замыкания и ЭДС

**Тема 7.** Физический принцип работы светодиодов. Механизмы рекомбинационных процессов. Условие возникновения вынужденного излучения в полупроводниковых переходах.

## **5. Образовательные технологии**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по реализации компетентностного подхода, дисциплина «Оптические свойства полупроводников» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм занятий в виде: лекции, семинаров, контрольных работ, коллоквиума, и зачета. В процессе преподавания дисциплины применяются следующие образовательные технологии: развивающее обучение, проблемное обучение, коллективная система обучения, лекционно-зачетная система обучения. При чтении данного курса применяются такие виды лекций, как вводная, лекция-информация, обзорная, проблемная, лекция-визуализация. Лекции сопровождаются представлением материалов виде презентаций с использованием анимации, выход на сайты, где представлены соответствующие иллюстрации и демонстрации для излагаемого материала.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой: мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах (лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция, лекция-визуализация, лекция с запланированными ошибками), определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом, в учебном процессе по данной дисциплине они должны составлять не менее 20 часов аудиторных занятий. Число лекций от общего числа аудиторных занятий определено учебной программой.

Для выполнения физического практикума и подготовке к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия и разработки, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развития профессиональных навыков обучающихся. В процессе лабораторного практикума формируется у студентов умение производить расчеты с помощью пакета стандартных компьютерных математических программ, что позволяет существенно приблизить уровень культуры статистической обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты закрепляют навыки (приобретенные на 1-2 курсах) по оценке погрешностей результатов измерений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях. Опережающая самостоятельная работа.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

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.

**Итоговый контроль.** Зачет в конце семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоёмкость, а.ч.		
	Очная	Очно-заочная	заочная
<b>Текущая СРС</b>			
работа с лекционным материалом, с учебной литературой	<b>4</b>		
самостоятельное изучение разделов дисциплины	<b>2</b>		
подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	<b>4</b>		
подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам	<b>2</b>		
<b>Творческая проблемно-ориентированная СРС</b>			
поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	<b>2</b>		
<b>Итого СРС:</b>	<b>16 часов</b>		

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

### 7.1. Типовые контрольные задания

#### 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

### 7.1.1. Типовые контрольные тестовые задания

1. Поглощение. Уравнение Бугера-Ламберта.

Поглощение электромагнитных волн определяется следующим уравнением

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

$$4) J = -J_0 kx, \quad 5) J = J_0 kx,$$

где  $k$  – 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  $\beta$  - квантовый выход,  $k$  - коэффициент поглощения,  $J$  - интенсивность света,  $t$  - время освещения.
2.  $\Delta n = \beta k J \tau_n$ , где  $\tau_n$  - время жизни электронов.
3. или  $\Delta n = e \mu_n \beta k J \tau_n$ , где  $\tau_n$  и  $\mu_n$  - 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).  $\tau_n = \frac{1}{q_n \vartheta_n p}$ , где  $q_n, \vartheta_n, p$  - соответственно сечение захвата, относительная скорость движения электрона и дырок, концентрация дырок.
- 2).  $\tau_n = q_n \vartheta_n p$
- 3).  $\tau_n = e^{q_n \vartheta_n P}$
- 4).  $\tau_n = \frac{P}{q_n \vartheta_n}$

### 8. Релаксация фотопроводимости определяется:

1. Временем жизни носителей  $\tau$  ( $\tau_n$  и  $\tau_p$ );
2. Наличием ловушек (малой и высокой концентрации)
3. Шириной зоны проводимости

4. Энергией ионизации.
9. На монополярную фотопроводимость влияют:
1.  $\alpha$ -центры прилипания
  2. Демаркационные центры прилипания
  3. Только  $\beta$ -центры прилипания
  4. Центры рекомбинации.
10. Какую роль играет постоянная подсветка на релаксацию фотопроводимости при наличии  $\alpha$ - прилипания:
1. Увеличение постоянной подсветки приводит к увеличению роли  $\alpha$  прилипания, т.е. к уменьшению  $\beta$  и  $\tau$ ;
  2. Увеличение постоянной подсветки приводит к уменьшению  $\alpha$ , что увеличивает  $\beta$  и  $\tau$ ;
  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)  $\frac{m_0^2}{\mu P_{\text{э,л}}} \gg 1$
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.
4. В возникновении продольной разности потенциалов в переменном магнитном поле при облучении полупроводника светом.

#### 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.**

Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля  
Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

#### **Текущий контроль по дисциплине включает:**

##### *Лекции*

- посещение занятий – 5 баллов,
- активное участие на лекциях – 5 баллов,
- устный опрос, тестирование, коллоквиум – 30 баллов,
- и др. (доклады, рефераты) – 10 баллов.

##### *Практические занятия*

- посещение занятий – 5 баллов,
- активное участие на практических занятиях – 5 баллов,
- выполнение домашних работ – 10 баллов,
- выполнение самостоятельных работ – 10 баллов,
- выполнение контрольных работ – 20 баллов.

##### *Промежуточный контроль по дисциплине включает:*

- устный опрос – 60 баллов,
- письменная контрольная работа – 30 баллов,
- тестирование – 10 баллов.

### **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>

Адреса блогов: <http://jkafft.blogspot.ru/> ссылка для студентов

<http://zhfft.blogspot.ru/> ссылка для студентов

#### **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.

#### **в) 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.**

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки бакалавров по направлению **03.03.02 Физика:**

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru). Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. 537 наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
7. **Scopus**. Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>

8. **Wiley Online Library.** Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2022 г. <https://onlinelibrary.wiley.com/>

9. **Международное издательство Springer Nature**

10. Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>

11. **Журналы American Physical Society**

12. Базы данных APS (American Physical Society). Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2022 г. <http://journals.aps.org/about>

13. **Журналы Royal Society of Chemistry.** База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>

14. **Журнал Science (AAAS)** <http://www.sciencemag.org/>

15. **Единое окно** <http://window.edu.ru/> (интернет ресурс)

16. Дагестанский региональный ресурсный центр <http://rrc.dgu.ru/>

17. **Нэикон** <http://archive.neicon.ru/>

**10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Подготовка к семинарскому занятию включает закрепление и углубление теоретических знаний. В том числе: планирование самостоятельной работы, уяснение задания; подбор литературы; составление плана работы по пунктам.

Следующий этап – непосредственная подготовка к занятию – начинается с изучения рекомендованной литературы, т.к. на лекции рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Самостоятельная работа выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Во время самостоятельной работы обучающиеся должны изучать и конспектировать учебную, научную и справочную литературу, выполнять задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовиться к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Среди учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- презентации;
- тезисы лекций,
- ресурс электронных изданий по теме.

**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 Power Point (MS Power Point

- Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS Power Point (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, 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 лабораториях НОЦ «Нанотехнологии». При проведении занятий используются лаборатории, оснащенные современным технологическим и измерительным оборудованием.
2. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный проекционным оборудованием и интерактивной доской.