



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

*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ  
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Кафедра «Инженерная физика»

**Образовательная программа  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Профиль подготовки  
«Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Уровень высшего образования  
бакалавриат

Форма обучения очная

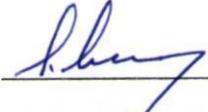
Статус дисциплины: **вариативная**

Махачкала  
2020

Рабочая программа дисциплины составлена в 2018 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (уровень бакалавриата) от «12» марта 2015 г. № 218.

Разработчик(и): кафедра инженерной физики  
Кардашова Г.Д. – к.ф.-м.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры Инженерной физики от 17. 02. 2020 г., протокол № 6

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от 28. 02. 2020 г., протокол №6.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением 28. 02. 2020 г. 

(подпись)

## **Оглавление**

Аннотация рабочей программы дисциплины .....	4
1. Цели освоения дисциплины.....	5
2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата .....	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).....	5
4. Объем, структура и содержание дисциплины. ....	7
4.1. Объем дисциплины .....	7
4.2. Структура дисциплины.....	7
4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).....	8
4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.....	8
4.3.2. Темы практических и семинарских занятий.....	10
5. Образовательные технологии .....	11
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.....	13
7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины. ....	13
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.....	13
7.2. Типовые контрольные задания .....	16
7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....	17
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины. ....	19
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	20
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины. ....	20
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем. ....	24
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	25

*Аннотация рабочей программы дисциплины*

Дисциплина «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках» входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) **11.03.04. Электроника и нанoeлектроника**.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой Инженерная физика.

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 люминесценция, фотопроводимость, оптическая перезарядка уровней и фоторазогрев носителей заряда.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: *профессиональных –ПК-2, ПК-3, ПК-5*.

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

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *устного опроса, контрольных работ, рефератов и коллоквиумов* и промежуточный контроль в форме *зачета*.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, экзамен
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					консульта ции		
		всего	Лекци и	Лаборато рные занятия	Практиче ские занятия	КСР			
6	72	34	16	-	18			38	зачет

## **1. Цели освоения дисциплины.**

**Цель освоения дисциплины** «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках» - дать базовые знания по оптике 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 оптические и фотоэлектрических явлений в полупроводниках: внутренний фотоэффект, фотопроводимость, эффект Дембера, фотоэлектромагнитный эффект; характеристическая и рекомбинационная люминесценция; излучение в неоднородных изотропных и анизотропных средах; оптические системы.

**Основные разделы программы курса:** Основные виды взаимодействий твердого кристаллического тела (полупроводника) с электромагнитным излучением. Процессы поглощения, отражения и излучения света полупроводниками.

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

Дисциплина «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках» входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) **11.03.04. Электроника и нанoeлектроника**.

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, стандартизация».

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

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную	<b>Знать:</b> базовые теоретические знания в области оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках.

	методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<p><b>Уметь:</b> проводить измерения параметров полупроводников и проводить расчеты при анализе результатов измерений и использовать их в различных областях техники.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками и методами количественного формулирования и решения задач по оптике полупроводников.</p>
ПК-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основы физики твердого тела, физические основы технического применения контактных явлений в полупроводниках</li> <li>- методы расчета и численной оценки точности результатов измерений физических величин.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить измерения параметров полупроводников соответствующие расчеты при анализе экспериментальных данных;</li> <li>- анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками поиска необходимых табличных данных в справочной литературе и в интернете;</li> <li>- современными программными средствами подготовки материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</li> </ul>
ПК-5	Готовность выполнять расчет и проектирование	<p><b>Знать:</b> математические, алгоритмические, технические</p>

	<p>электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования</p>	<p>основы проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения.  <b>Уметь:</b> выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.  <b>Владеть</b> методами математического моделирования, компьютерной, аналитической и графической обработки результатов измерений.</p>
--	---	--

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

##### 4.1. Объем дисциплины

составляет 2 зачетных единиц, 72 академических часа.

##### 4.2. Структура дисциплины.

№ 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 промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекц	пр.	лаб	сам.	
<b>Модуль 1</b>								
1	Введение. Поглощение света полупроводниками.	6	1-4	4	4		6	Проверка рефератов, проверка самостоятельного решения задач, экспресс-тестирование
2	Люминесценция полупроводников	6	5-7	2	4		6	
3	Фотопроводимость полупроводников	6	8-9	2	2		4	
<b>Модуль 2</b>								
4	Примесная фотопроводимость. Собственная	6	10-11	2	2		6	Проверка рефератов, проверка самостоятельного

	фотопроводимость.							решения задач, экспресс- тестирование
5	Фототермическая фотопроводимость. Прыжковая фотопроводимость.	6	12- 13	2	2		6	
6	Оптическая перезарядка локальных уровней.		14- 15	2	2		4	
7	Фотоэлектромагнитный эффект. Фоторазогрев носителей.	6	16- 17	2	4		6	
8	Зачет	6						7
	Итого: <b>72</b>			16	18		38	Зачет - тестирование

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

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Лекции

##### **Тема 1. Поглощение света полупроводниками.**

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

##### **Тема 3. Фотопроводимость полупроводников.**

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

##### **Тема 4. Примесная фотопроводимость.**

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

##### **Тема 5. Собственная фотопроводимость.**

Времена релаксации, стационарная величина фотопроводимости и стационарное время жизни носителей заряда. Спектральная зависимость

собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации. Температурная зависимость собственной фотопроводимости.

**Тема 6. Оптическая перезарядка локальных уровней в запрещенной зоне.**

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 7. Фототермическая фотопроводимость.**

Фототермическая фотопроводимость, условия ее наблюдения, спектральная зависимость. Фотоэлектрическая спектроскопия и фотоэлектромагнитная лазерная спектроскопия.

**Тема 8. Фотоэлектромагнитный эффект.**

Фотоэлектромагнитный эффект, условия его наблюдения. Зависимости тока короткого замыкания и фотоэлектромагнитной ЭДС от параметров полупроводников и скорости поверхностной рекомбинации. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников.

**Тема 9. Фоторазогрев носителей. Прыжковая**

**фотопроводимость.** Фоторазогрев носителей, условия его возникновения и проявления,

влияние на параметры полупроводника: подвижность, время жизни носителей. Осцилляции в спектрах фотопроводимости и их природа. Особенности фоторазогрева в сильно легированных и компенсированных полупроводниках.

Прыжковая фотопроводимость в сильно легированных полупроводниках.

**Самостоятельная работа бакалавров**

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Труд. емк.
1	Поглощение света полупроводниками.	Взаимодействие электромагнитного излучения с твердым телом. Механизмы поглощения света в твердых телах. Энергетические структуры основных полупроводников.	6
2	Люминесценция полупроводников	Виды люминесценции. Механизмы излучательной рекомбинации. Спектральное распределение рекомбинационного излучения.	6
3	Фотопроводимость полупроводников	Центры рекомбинации и центры прилипания. Влияние центров прилипания на релаксацию	4

		неравновесной проводимости.	
4	Примесная фотопроводимость	Особенности примесной проводимости. Индуцированная примесная фотопроводимость. Кривые релаксации.	4
5	Собственная фотопроводимость	Спектральная зависимость собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации. Температурная зависимость собственной фотопроводимости.	2
6	Фототермическая фотопроводимость	Термостимулированная проводимость. Отрицательная фотопроводимость.	4
		Фотоэлектрическая спектроскопия и фотоэлектромагнитная лазерная спектроскопия.	
7	Прыжковая фотопроводимость	Прыжковая фотопроводимость в сильно легированных полупроводниках	2
8	Оптическая перезарядка локальных уровней.	Оптическая перезарядка локальных уровней в запрещенной зоне при собственном и примесном возбуждении неравновесных носителей заряда. Фотоэлектрические эффекты, обусловленные оптической перезарядкой уровней: температурное и ИК гашение фотопроводимости.	4
9	Фотоэлектромагнитный эффект	Зависимости тока короткого замыкания и фотоэлектромагнитной ЭДС от параметров полупроводников и скорости поверхностной рекомбинации. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников.	2
10	Фоторазогрев носителей	Осцилляции в спектрах фотопроводимости и их природа. Особенности фоторазогрева в сильно легированных и компенсированных полупроводниках.	4
	<b>Итого</b>		38

#### 4.3.2. Темы практических и семинарских занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Поглощение света полупроводниками.	Распространение света в полупроводниках. Соотношение Крамерса-Кронига. Оптические константы. Виды поглощения. Форма края основного поглощения в прямозонном и непрямозонном полупроводнике. Влияние внешних факторов на край основного оптического поглощения. Примесное поглощение. Решеточное поглощение, однофононный

		резонанс.
2	Люминесценция полупроводников	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	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	Примесная фотопроводимость.	Особенности примесной фотопроводимости. Примесная фотопроводимость, связанная с одним типом уровней. Основные механизмы рекомбинации носителей заряда и температурная зависимость примесной фотопроводимости. Влияние уровней прилипания на стационарную фотопроводимость и стационарные времена жизни электронов и дырок.
5	Собственная фотопроводимость.	Спектральная зависимость собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации. Температурная зависимость собственной фотопроводимости.
6	Оптическая перезарядка локальных уровней	Оптическая перезарядка примесных центров и кинетика примесной фотопроводимости. Влияние перезарядки на кинетику примесной фотопроводимости.
7	Фотоэлектромагнитный эффект	Физическое описание фотоэлектромагнитного эффекта. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников.
8	Фоторазогрев носителей	Фото электрический эффект и фоторазогрев носителей в полупроводниковых структурах

## 5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «Оптические и фотоэлектрические явления полупроводниках» 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 «Оптических и фотоэлектрических явлений» 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.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

1. самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
2. поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

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

### ***Промежуточный контроль.***

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

### ***Итоговый контроль.***

Зачет в конце 7 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

Предполагается самостоятельная работа студентов при подготовке к практическим и лабораторным занятиям, в первую очередь. Кроме того самостоятельная работа предполагает самоподготовку к контрольным работам, а также к зачету. Самостоятельная работа должна проходить в 4 этапа:

1. Изучение рекомендованной литературы
2. Поиск в Интернете дополнительного материала
3. Подготовка к контрольной работе
4. Подготовка к зачету

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

### ***7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.***

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код	Наименование	Планируемые	Процедура
-----	--------------	-------------	-----------

компетенции из ФГОС ВО	компетенции из ФГОС ВО	результаты обучения	освоения
ПК-2	Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	<b>Знает:</b> базовые теоретические знания в области оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках. <b>Умеет:</b> проводить измерения параметров полупроводников и проводить расчеты при анализе результатов измерений и использовать их в различных областях техники. <b>Владеет:</b> навыками и методами количественного формулирования и решения задач по оптике полупроводников.	Устный опрос, письменный опрос, тестирование.
ПК-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	<b>Знает:</b> -основы физики твердого тела, физические основы технического применения контактных явлений в полупроводниках - методы расчета и численной оценки точности результатов измерений физических величин. <b>Умеет:</b> - проводить измерения параметров полупроводников соответствующие расчеты при анализе экспериментальных данных; - анализировать и систематизировать результаты	Письменный опрос, тестирование, контрольные задания, проверка рефератов, выступление на семинарах.

		<p>исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками поиска необходимых табличных данных в справочной литературе и в интернете;</li> <li>- современными программными средствами подготовки материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</li> </ul>	
ПК-5	<p>Готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования</p>	<p><b>Знает:</b> математические, алгоритмические, технические основы проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения.</p> <p><b>Умеет:</b> выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.</p> <p><b>Владеет</b> методами математического моделирования, компьютерной, аналитической и графической</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос, тестирование, выступление на семинарах, студенческая конференция.</p>

		обработки результатов измерений.	
--	--	--	--

## 7.2. 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 термогенерации 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  $D$  ?
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.

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

*Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.*

Контроль освоения студентом дисциплины осуществляется в рамках модульно-рейтинговой системы в ДМ, включающих текущую, промежуточную и итоговую аттестации.

По результатам текущего и промежуточного контроля составляется академический рейтинг студента по каждому модулю и выводится средний рейтинг по всем модулям.

По результатам итогового контроля студенту засчитывается трудоемкость дисциплины в ДМ, выставляется дифференцированная отметка

в принятой системе баллов, характеризующая качество освоения студентом знаний, умений и навыков по данной дисциплине.

В соответствии с учебным планом предусмотрен экзамен во 2-м семестре.

Формы контроля: текущий контроль, промежуточный контроль по модулю, итоговый контроль по дисциплине предполагают следующее распределение баллов.

*Текущий контроль:*

- посещаемость занятий 5 баллов
- активное участие на занятиях 25 баллов
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ 5 баллов
- написание и защита рефератов 5 баллов

Максимальное суммарное количество баллов по результатам текущей работы для каждого модуля – 40 баллов.

*Промежуточный контроль* освоения учебного материала по каждому модулю проводится преимущественно в форме тестирования.

Максимальное количество баллов за промежуточный контроль по одному модулю - 60 баллов. Результаты всех видов учебной деятельности за каждый модульный период оценивается рейтинговыми баллами.

Минимальное количество средних баллов по всем модулям, которое дает право студенту на положительные отметки без итогового контроля знаний:

- от 51 до 69 балла – удовлетворительно
- от 70 до 84 балла – хорошо
- от 85 до 100 балла – отлично
- от 51 и выше - зачет

*Итоговый контроль* по дисциплине осуществляется преимущественно в форме тестирования по балльно-рейтинговой системе, максимальное количество которых равно – 100 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется в баллах. Удельный вес итогового контроля в итоговой оценке по дисциплине составляет 30%, среднего балла по всем модулям 70%.

Критерии оценок следующие:

- 100 баллов – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.
- 90 баллов - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.
- 80 баллов - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.
- 70 баллов - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.
- 60 баллов – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.
- 50 баллов – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.
- 40 баллов – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.
- 20-30 баллов - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.
- 10 баллов - студент имеет лишь частичное представление о теме.

- 0 баллов – нет ответа.

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

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

### *а) Основная литература:*

**1. Шалимова, Клавдия Васильевна.** Физика полупроводников : учебник / Шалимова, Клавдия Васильевна. - 4-е изд., стер. - СПб;М;Краснодар : Лань, 2010. - 703-56. ( 62 экз.)

**2. Пасынков, Владимир Васильевич.** Полупроводниковые приборы : учеб. пособие / Пасынков, Владимир Васильевич, Л. К. Чиркин. - Изд. 8-е, испр. - СПб. [и др.] : Лань, 2009, 2006, 2001. - 479 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Допущено МО РФ. ( 15 экз.)

**3. Щеулин А.С.** Оптические свойства ионных кристаллов с центрами окраски [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.С. Щеулин, А.И. Рыскин. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2010. — 38 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67437.html>

**4. Ефимов А.М.** Оптические свойства материалов и механизмы их формирования [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.М. Ефимов. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2008. — 103 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67438.html>

### *б) Дополнительная литература:*

**1. Лебедев, Александр Иванович.** Физика полупроводниковых приборов / Лебедев, Александр Иванович. - М. : Физматлит, 2008. - 487 с. : ил. - Рекомендовано УМО. - ISBN 978-5-9221-0995-6 : 220-00. ( 2 экз.)

**2. Зегря, Г.Г.** Основы физики полупроводников : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника" / Г. Г. Зегря ; Г. Г. Зегря, В. И. Перель. - М. : Физматлит, 2009. - 335 с. - ISBN 978-5-9221-1005-1. ( 20 экз.)

3. Филяк М.М. Основные физические процессы в проводниках, полупроводниках и диэлектриках [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.М. Филяк. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 134 с. — 978-5-7410-1188-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/54132.html>

4. Плотников П.Г. Изучение полупроводников в курсе ФТТ [Электронный ресурс] : учебное пособие / П.Г. Плотников, Л.В. Плотникова. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2015. — 67 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66454.html>

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

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства ([www.fero.ru](http://www.fero.ru)).
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
6. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
7. [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru) - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки [elibrary.ru](http://elibrary.ru)).
9. [www.affp.mics.msu.su](http://www.affp.mics.msu.su)

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

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студенту предоставляется возможность работать во время учебы более самостоятельно, чем учащимся в средней школе. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла.

Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины..

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин, учебный план и расписание занятий вывешивается на 2-м этаже учебного корпуса . Рекомендуются не только ознакомиться с этими документами, но и изучить их.

Ежедневной учебной работе студенту следует уделять 9-10 часов своего времени, т.е. при 6 часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3-4 часа.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы . Если что- то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

### ***Работа на лекции***

На лекциях студенты получают самые необходимые данные, во многом дополняющие учебники (иногда даже их заменяющие с последними достижениями науки. Умение сосредоточенно слушать лекции, активно, творчески воспринимать излагаемые сведения является непременным условием их глубокого и прочного усвоения, а также развития умственных способностей.

Слушание и запись лекций - сложные виды вузовской работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Слушая лекции, надо отвлекаться при этом от посторонних мыслей и думать только о том, что излагает преподаватель. Краткие записи лекций, конспектирование их помогает усвоить материал.

Внимание человека неустойчиво. Требуется волевые усилия, чтобы оно было сосредоточенным. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное. Это должно быть сделано самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое "конспектирование" приносит больше вреда, чем пользы. Некоторые студенты просят иногда лектора "читать помедленнее". Но лекция не может превратиться в лекцию-диктовку. Это очень вредная тенденция, ибо

в этом случае студент механически записывает большое количество услышанных сведений, не размышляя над ними.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: "важно", "особо важно", "хорошо запомнить" и т.п. Целесообразно разработать собственную "маркографию"(значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда используй не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

### ***Подготовка к сессии***

Каждый учебный семестр заканчивается аттестационными испытаниями: зачетно - экзаменационной сессией. Подготовка к экзаменационной сессии и сдача зачетов и экзаменов является ответственным периодом в работе студента. Seriously подготовиться к сессии и успешно сдать все экзамены - долг каждого студента. Рекомендуется так организовать свою учебу, чтобы перед первым днем начала сессии были сданы и защищены все лабораторные работы, сданы все зачеты, выполнены другие работы, предусмотренные графиком учебного процесса.

Основное в подготовке к сессии - это повторение всего материала, курса или предмета, по которому необходимо сдавать экзамен. Только тот успевает, кто хорошо усвоил учебный материал.

Если студент плохо работал в семестре, пропускал лекции, слушал их невнимательно, не конспектировал, не изучал рекомендованную литературу, то в процессе подготовки к сессии ему придется не повторять уже знакомое,

а заново в короткий срок изучать весь материал. А это зачастую оказывается невозможно сделать из-за нехватки времени. Для такого студента подготовка

к экзаменам будет трудным, а иногда и непосильным делом, а финиш - отчисление из учебного заведения.

В дни подготовки к экзаменам избегай чрезмерной перегрузки умственной работой, чередуй труд и отдых.

При подготовке к сдаче экзаменов старайся весь объем работы распределять равномерно по дням, отведенным для подготовки к экзамену, контролировать каждый день выполнения работы. Лучше, если можно перевыполнить план. Тогда всегда будет резерв времени.

### ***Методические рекомендации для преподавателя***

Одной из задач преподавателя, ведущего занятия по дисциплине, является выработка у бакалавров осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей работы их инженерами-исследователями, при организации современного производства высококачественной, конкурентоспособной продукции.

Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения. Принципами организации учебного процесса являются:

- выбор методов преподавания в зависимости от различных факторов, влияющих на организацию учебного процесса;
- объединение нескольких методов в единый преподавательский модуль в целях повышения эффективности процесса обучения;
- активное участие слушателей в учебном процессе;
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Используемые методы преподавания: лекционные занятия с использованием наглядных пособий и раздаточных материалов; метод «мозгового штурма», индивидуальные и групповые задания при проведении практических занятий.

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями СТП. С целью более эффективного усвоения бакалаврами материала данной дисциплины рекомендуется при проведении лекционных занятий использовать наглядные пособия и раздаточные материалы. Для более глубокого изучения предмета бакалаврам представляется информация возможности использования Интернет-ресурсов по разделам дисциплины. Для контроля знаний бакалавров по данной дисциплине необходимо проводить рубежный и итоговый контроль.

Рубежный контроль. Бакалаврами по изученной дисциплине выполняются реферативные работы, доклады.

Контрольное тестирование. Этот метод включает в себя задания по всем темам раздела рабочей программы дисциплины.

Итоговый контроль осуществляется в виде зачета в конце семестра.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

<b>Вид учебных занятий</b>	<b>Организация деятельности студента</b>
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка
	терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на
Практические занятия	практических работах. Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

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

Чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов - тренингов по ряду разделов дисциплины.

***Интернет ресурсы:***

1. [www. elsevierscience.ru](http://www.elsevierscience.ru)
2. [www. edu.ru](http://www. edu.ru)
3. [www. window.edu.ru](http://www. window.edu.ru)
4. [www.nisrussia.ru](http://www.nisrussia.ru)
5. [www.neicon.ru](http://www.neicon.ru)
6. [www.springerlink.cjm.journalsis](http://www.springerlink.cjm.journalsis)
7. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
8. [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru) - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия.

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

Материально – техническая база кафедры инженерной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить бакалавров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской.