



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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

Образовательная программа

**03.03.02 – Физика**

Профиль подготовки

**Фундаментальная физика**

Уровень высшего образования:

**Бакалавриат**

Форма обучения:

**Очная**

Статус дисциплины:

**Вариативная**

**Махачкала, 2017 г.**

Рабочая программа дисциплины «**Оптические свойства полупроводников**» составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС3+ ВО по направлению подготовки **03.03.02 – Физика** (уровень: бакалавриат), профиль подготовки: Фундаментальная физика

Разработчик(и): кафедра физики конденсированного состояния и наносистем, Хамидов М.М., д.ф.-м.н., профессор. \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физики конденсированного состояния и наносистем от «25» марта 2017г., протокол №7.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Рабаданов М.Х.

На заседании Методической комиссии физического факультета от «31» марта 2017г., протокол №7.

Председатель \_\_\_\_\_ Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 08.04 \_\_\_\_\_ 2017г. \_\_\_\_\_ 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:  
*Общекультурных:*

- способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7); *общепрофессиональных:*
- способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);
- способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6);

*профессиональных:*

- способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-2);
- готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3).

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 2 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Сем естр	Учебные занятия						СРС, в том числе эк-замен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированные зачет, экзамен)	
	в том числе								
	Контактная работа обучающихся с преподавателем								
	Всего	из них							
Лекции		Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации				
6	72	18	-	34	-	1	20	(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 раз-

личного 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: 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 ООП бакалавриата**

Дисциплина «Оптические свойства полупроводников» входит в базовую часть образовательной программы 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».

В результате освоения дисциплины «Оптические свойства полупроводников» бакалавр должен демонстрировать следующие результаты:

1. **Знать:** базовые теоретические знания в области оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках.
2. **Уметь:** использовать специализированные знания в области оптики полупроводников для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с направлением подготовки «физика»); проводить измерения параметров полупроводников и проводить расчеты при анализе результатов измерений.
3. **Владеть:** методами количественного формулирования и решения задач по оптике полупроводников.

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

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
Общекультурные	способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);	<p><i>Знать:</i> основные правовые и этические нормы при оценке последствий своей профессиональной деятельности;</p> <p><i>Уметь:</i> адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в данной области знаний;</p> <p><i>Владеть:</i> навыками к самоорганизации и самообразованию;</p>



Модуль 1								
1	Введение. Зонная теория Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения	6	1-4	4	8		4	Проверка рефератов, устный опрос, экспресс-тестирование
2	Люминесценция. Типы люминесценции	6	5-7	2	4		2	
3	Фотопроводимость полупроводников. Релаксация.	6	8-9	2	4		2	
Модуль 2								
4	Собственная фотопроводимость. Примесная фотопроводимость.	6	10-11	2	4		2	Проверка рефератов, устный опрос, экспресс-тестирование
5	Влияние ловушек на кинетические параметры	6	12-13	2	4		2	
6	Эффект Дембера Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах		14-15	4	4		4	
7	Светодиоды. Инжекционные лазеры	6	16-17	2	6		4	
8	Зачет	6						
	Итого: 72			18	34		20	

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

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.

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.

*Самостоятельная работа 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 фотопроводимость.	2
5	Влияние ловушек на кинетические параметры	Термостимулированная проводимость. Отрицательная фотопроводимость	2
6	Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах	Полупроводниковые преобразователи солнечной энергии	4
7	Светодиоды. Инжекционные лазеры.	Инжекционные лазеры и светодиоды на основе гетеропереходов	4
8		.	
	Итого		20

**2.3. 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 поглощение. Решеточное поглощение, однофононный резонанс.
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 проводимость 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 рекомбинации
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 фотопроводимости
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 холостого хода.
7	Светодиоды. Инжекционные лазеры.	Физический принцип работы светодиодов. Механизмы рекомбинационных процессов. Условие возникновения вынужденного излучения в полупроводниковых переходах.

### 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.

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 тестовые контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;

выполнение итоговой контрольной работы в виде тестирования, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

*Итоговый контроль.*

Зачет в конце 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. Кроме того самостоятельная работа предполагает самоподготовку к семинарам и 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 контрольному тестированию
4. Подготовка к зачету

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

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре. Они также размещены на образовательном сервере Даггосуниверситета (по адресу: <http://edu.dgu.ru>), а также представлены в управление качества образования ДГУ.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ООП (тематики докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

### **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.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освое-
ОК-7	Знать - физическую сущность оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках и их применение в различных приборах и устройствах твердотельной электроники; - методы оценки оптических и фотоэлектрических явлений;	Устный опрос, письменный опрос, контрольная работа
ОПК-1, ОПК - 2, ОПК - 6,	Уметь использовать специализированные знания в области оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с направлением подготовки «физика»)	Письменный опрос
ПК - 2, ПК - 3	Владеть методами количественного формулирования и применения полученных знаний в области оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках. Иметь навыки исследования основных характеристик оптически и фотоэлектрических явлений	Мини - конференция

## 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

### ОК-7

Схема оценки уровня формирования компетенции «способность к самоорганизации и самообразованию» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала <b>i</b>		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Систематизированное представление об оптических и фотоэлектрических явлениях в полупроводниках.	Ознакомлен с основными оптическими и фотоэлектрическими явлениями в полупроводниках	Показывает знание основных оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках и их использование в конкретных ситуациях.	Демонстрирует четкие определения основных оптических понятий и готовность к пониманию фотоэлектрических явлений в полупроводниках.

### ОПК-1

Схема оценки уровня формирования компетенции «способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично

Пороговый	Способность представлять сущность оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках на основе знания законов и методов естественных наук и математики	Иметь представление о сущности оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках.	Уметь использовать основные законы физики и математики для представления и описания оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках.	Отлично знать и ориентироваться во многообразии оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках и их применения.
-----------	--	--	---	---

#### ОПК-2

Схема оценки уровня формирования компетенции *«способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат»* (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Возможность выявить естественнонаучную сущность проблем привлекать для решения соответствующий физико-математический аппарат	Знать основные проблемы в данной предметной области средства их решения	Уметь использовать результаты освоения матери-выбирать методы и средства их решения	Отлично знать и ориентироваться во всем многообразии оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках

#### ОПК-6

Схема оценки уровня формирования компетенции *«способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий»* (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о поиске, хранении, обработке информации из различных источников в нужном формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий для изучения оптики полупроводников	Ознакомлен с основными понятиями и имеет представление о поиске, хранении, обработке информации из различных источников.	Показывает умение самостоятельно находить дополнительный материал по теме оптики полупроводников	Отлично уметь упорядочить и сделать необходимые выводы при изучении оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках.

## ПК-2

Схема оценки уровня формирования компетенции «способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения» приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемон-	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике методику экспериментального исследования оптических и фотоэлектрических параметров полупроводников.	Иметь представление об основных методах исследования оптических и фотоэлектрических параметров полупроводников	Хорошо ориентироваться и знать методику экспериментального исследования оптических и фотоэлектрических параметров полупроводников.	Отлично знать и аргументированно выбирать и использовать методику экспериментального исследования параметров оптических и фотоэлектрических параметров полупроводников

## ПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции «готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций» приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемон-	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Возможность анализировать систематизировать результаты изучения наноматериалов, их свойств и применение	Иметь представление об основных проблемах наноматериалов, методах и средств их исследования	Уметь использовать физическую сущность процессов, происходящих в наноматериалах	Использовать результаты освоения материала, выбрать методы и средства их решения

### 7.3. 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

- нафотосоппротивление (световая характеристика).
12. Метод исследования вольтамперных и световых характеристик фотосоппротивлений 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

#### **7.4. 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 К. В. Физика полупроводников. М.: Лань, 2010.

2. Воробьев Л.Е. и др. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых и размерно-квантовых структурах. СПб, 2001.

3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., 1978.

4. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. - М., ГИФМЛ, 1963.

5. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М.: Мир, 1977.

6. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009.

7. Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел. - М.: ИЛ, 1962.

б) Дополнительная литература:

1. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. М., Наука 2-е издание. 1990.

2. Кардона П. Ю. Введение в физику полупроводников. - М.: Физматлит, 2002.

3. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973.

#### **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 Росаккредитации ([www.fepo.ru](http://www.fepo.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 которой 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. Рекомендуется 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 неперенным 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. Требуются 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 изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда используйте 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 испытани-

ями: зачетно - экзаменационной сессией. Подготовка к экзаменационной сессии и сдача зачетов и экзаменов является важным и ответственным периодом в работе студента. Серьезно 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 СПП. 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 о 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 те-

мам 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.

Написание конспекта лекций: кратко, схематично, ключевые **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.cim.iournsis](http://www.springerlink.cim.iournsis)
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 физики твердого тела, которая осуществляет подготовку по направлению «03.03.02 – Физика», позволяет готовить бакалавров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются лаборатории, оснащенные современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует НОЦ «Нанотехнологии». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории.

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

## 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)  $J = -J_0 kx$ , 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  $\Delta n = \epsilon \mu_n \beta k J \tau_n$ , 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.  $\tau_n = \frac{1}{q_n v_n p}$ , 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  $\tau$  ( $\tau_n$  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)  $\frac{m_0^2}{\mu P_{\mu}} \gg 1$
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)  $\ell_D = \sqrt{\frac{\epsilon kT}{8\pi e^2 n_0}}$  называется

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