



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

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

Кафедра физической электроники

Образовательная программа  
11.04.04 электроника и наноэлектроника


Профили подготовки:  
Физическая электроника  
Уровень высшего образования:  
Магистратура

Форма обучения:  
Очная

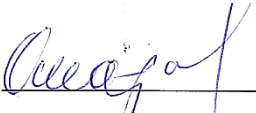
Статус дисциплины:  
Базовая

Махачкала, 2017 год


Рабочая программа дисциплины «Контактные явления» составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 электроника и нанoeлектроника (уровень магистратура) утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 октября 2014 г. № 1407

Разработчик: кафедра физической электроники, Алиев И.Ш., к.ф.-м.н., ст.преподаватель 


Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физической электроники от «22» марта 2017г., протокол № 8

Зав.кафедрой  Омаров О.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «30» марта 2017г., протокол № 7.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «30» марта 2017 г.

Начальник УМУ  Гасангаджиева А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина Контактные явления входит в базовую (*базовую, вариативную, вариативную по выбору*) часть образовательной программы магистратуры (*бакалавриата, специалитета, магистратуры*) по направлению (специальности) 11.03.04 электроника и наноэлектроника.  
Дисциплина реализуется на факультете физическом кафедрой физической электроники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с действием твердотельных электронных приборов (диодных и МДП-структур, тиристоров, биполярных и полевых транзисторов), изучением физики процессов, лежащих в основе их работы, изучением явлений на границе раздела и поверхности контактирующих материалов.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общекультурных - ОК-1, общепрофессиональных - ПК-1, ПК-3, ПК-6, профессиональных - ПК-9.

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

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме контрольная работа и промежуточный контроль в форме экзамена

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

Се- местр	Учебные занятия		Форма промежу- точной аттеста- ции (зачет, диф- ференцированный	
	в том числе			
	Контактная работа обучающихся с преподавателем			СРС, в том
	Все-	из них		

	го	Лек- ции	Лаборатор- ные заня- тия	Практи- ческие занятия	КСР	консуль- тации	числе экза- мен	зачет, экзамен
9	144	10		14			84+36	экзамен

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины (модуля) «Контактные явления» являются привитие студентам теоретических и практических знаний физики процессов, явлений и эффектов, определяющих принцип построения и работы изделий твердотельной электроники, широко используемых в современной технике физического эксперимента, радиофизике, радиоэлектронике, электронно-вычислительной технике, приборостроении, автоматике, промышленности средств связи.

Твердотельная электроника и микроэлектроника, частью которых является и физика контактных явлений, - наиболее динамично развивающиеся направления электронной техники, определяющие научно-технический прогресс и развитие многих отраслей техники и промышленности. Развитие твердотельной электроники и микроэлектроники характеризуется постоянным обновлением технических идей, изменением технологии производства изделий микроэлектроники, расширением областей их применения и выделением ряда новых перспективных направлений.

Основной задачей твердотельной электроники, микроэлектроники и физики контактных явлений является комплексная микроминиатюризация электронной аппаратуры, которая приводит к снижению стоимости, материалоемкости, энергопотребления, массы и габаритов изделий, повышение надежности и увеличению объема выполняемых электронной аппаратурой функций. Микроэлектронная технология позволяет резко расширить масштабы производства аппаратуры, создать мощную индустрию информатики, удовлетворить потребности общества в информационном обеспечении.

В этих условиях важнейшей задачей становится всемерное повышение качества подготовки специалистов в области физической электроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Контактные явления» входит в базовую часть образовательной программы, магистратуры по направлению (специальности) 210100.68 Электроника и наноэлектроника.

Дисциплина «Контактные явления» относится к профессиональному циклу магистратуры по магистерской программе «Физика полупроводников», направленной на изучение физических основ работы дискретных полупроводниковых приборов и элементов ИС, которые являются основой современной микроэлектроники, с целью выработки умений и навыков их использования в профессиональной деятельности.

В ней изучаются явления переноса в твердых телах, явления на контактах металл - полупроводник и металл - диэлектрик - полупроводник (МДП); электронно - дырочный переход; изотипные и анизотипные гетеропереходы; полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, тиристоры, МДП - транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом, полупроводниковые излучатели и фотоприемники, полупроводниковые датчики, сенсор-

ные устройства и преобразователи, принцип действия и характеристики указанных приборов.

Дисциплина «Контактные явления» логически и содержательно-методически взаимосвязана с такими дисциплинами, модулями, как Физика полупроводников и полупроводниковых приборов, Физические основы микроэлектроники, Твердотельная электроника, Основы кристаллографии, Физика конденсированного состояния и др.

Для успешного освоения данной дисциплины обучающимися необходимы некоторые знания и умения, приобретенные ими в результате освоения предшествующих дисциплин (модулей), таких как Электродинамика, Термодинамика и статистическая физика, Квантовая механика. К «входным» знаниям можно отнести вопросы геометрии кристаллической решетки, зонной теории твердого тела, статистики невырожденного и вырожденного электронного газа, явлений переноса, оптических свойств полупроводников и др.

Освоение дисциплины «Контактные явления» необходимо как предшествующее) для следующих дисциплин и модулей: Физические основы микро- и наноэлектроники, Твердотельная электроника, Физика полупроводниковых приборов, Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники, Полупроводниковые фотопреобразователи и др

### **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 ОК-1	способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень	Знать: основные н/т проблемы электроники Уметь: организовать работы или руководить коллективом Владеть навыками делового общения
общепрофессиональные ПК-1, ПК-3, ПК-6	способностью использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры (ПК-1); способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ПК-3); готовностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК-6)	Знать: виды и свойства материалов и технологий электронной техники Уметь: рассчитывать и определять основные параметры и характеристики полупроводниковых структур Владеть: методиками исследования структурных, электрических и оптических свойств материалов
по проектно-конструкторской-	способностью проектировать устройства, приборы и	Знать: нормативными требованиями составления н/т-документации

деятельности(ПК-9);	системы электронной техники с учетом заданных требований	<p>Уметь: планировать и составлять техническое задание к исследовательской работе и оформлять н/т-отчет по результатам выполненной работы</p> <p>Владеть: информацией о современном состоянии и последних достижениях в изучаемой области</p>
---------------------	--	---

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

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1. (название модуля)									
1	Явления переноса в твердых телах.	9	1	1	1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
2	Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	9	2		1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
3	Механизмы проводимости твердых тел.	9	3	1	1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
4	Явления на контакте «полупроводник - металл», барьер Шоттки и омический контакт	9	4		1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
5	Диодная и диффузионная теории выпрямления на контакте «металл-полупроводник».	9	5	1				5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
6	Электронно-дырочный переход.	9	6		1			6	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
7	Полупроводниковые гетероперехо-	9	7	1	1			6	Фронтальный опрос; коллективный разбор

	ды.								отдельных вопросов и типовых задач
8	Контакт «металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).	9	8	1	1			5	контрольная работа
	<i>Итого по модулю 1</i>			5	7			42	
<i>Модуль 2. (название модуля)</i>									
1	Теории выпрямления диодов	9	9	1	1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
2	Параметры и характеристики выпрямительных диодов	9	10		1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
3	Специальные диоды.	9	11	1				5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
4	Биполярные транзисторы	9	12		1			6	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
5	Тиристоры	9	13	1	1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
6	Полевые транзисторы	9	14		1			5	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
7	Полупроводниковые фотодиоды.	9	15	1	1			6	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
8	Полупроводниковые излучатели.	9	16	1	1			5	контрольная работа
	<i>Итого по модулю 2:</i>			5	7			42	
	Подготовка к экзамену							36	
	...								
	<b>ИТОГО:</b>			10	14			36	84

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

#### *Модуль 1. Название раздела «Физические процессы в полупроводниках и на их границах»*

##### *Тема 1. Название темы* **Изоляторы и проводники**

*Содержание темы.* Образование и заполнение энергетических зон в твердых телах. Концентрация электронов и дырок в полупроводниках, зависимость его от положения уровня Ферми и температуры. Определение ширины запрещенной зоны по температурной зависимости прово-



димости. Температурная зависимость подвижности носителей заряда и удельной проводимости.

**Тема 2. Название темы** **Генерация и рекомбинация носителей**

*Содержание темы.* Механизмы генерации, рекомбинации и время жизни неравновесных носителей заряда, уровни ловушек захвата, рекомбинации и деморкационные уровни. Температурная зависимость уровня Ферми и времени жизни.

**Тема 3. Название темы** **Процессы электропроводности в полупроводниках.** *Содержание темы.* Дрейф и диффузия носителей заряда, диффузионная длина, соотношение Эйнштейна, Уравнения токов. Влияние сильных электрических полей на электропроводность, эффект Ганна. Полупроводники в области криогенных температур, сверхпроводимость полупроводников.

**Тема 4. Название темы** **Явления на контакте «полупроводник - металл», барьер Шоттки.**

*Содержание темы.* Контактная разность потенциалов и ВАХ для системы «металл - вакуумный зазор - металл». Механизмы формирования, зонные диаграммы и свойства выпрямляющих и омических контактов металлов с полупроводниками. Диодная и диффузионная теории выпрямления на контакте «металл-полупроводник»..

**Тема 5. Название темы** **Электронно-дырочный переход,**

*Содержание темы.* Методы получения р - n- перехода. Энергетическая диаграмма р - n-перехода при равновесии, высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. Законы распределения заряда, напряженности поля и потенциала на переходе. Процессы переноса носителей заряда через равновесный р - n- переход, диффузионные и дрейфовые токи. Классификация электронно-дырочных переходов.

**Тема 6. Название темы** **Свойства неравновесного электронно-дырочного перехода. Барьерная и диффузионная ёмкости.**

*Содержание темы.* Процессы переноса носителей заряда через неравновесный р - n- переход. инжекция и экстракция носителей заряда. Вольтамперные характеристики идеального и реального перехода, токи генерации и рекомбинации. Ёмкостные свойства р-n- перехода.

**Тема 7. Название темы** **Полупроводниковые гетеропереходы.** *Содержание темы.* Энергетические диаграммы изотипных и анизотипных гетеропереходов. Расчет идеальной зонной схемы по модели Андерсона. Механизмы токопрохождения через идеальные и реальные гетеропереходы. Особенности свойств ГП, технологические проблемы при изготовлении гетеропереходов. Электрические и оптические свойства гетеропереходов. Гетеропереходные фотоприемники и источники света. Перспективы использования гетеропереходов.

**Тема 8. Название темы** **Контакт «металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).** *Содержание темы.* Особенности строения поверхности полупроводников, причины возникновения поверхностных уровней (состояний), искривление энергетических зон у поверхности. Зависимость поверхностной электропроводности от поверхностного потенциала. Структура и технология изготовления контакта МДП. Эффект поля и его применение. Электрические и оптические свойства МДП- структур.

**Модуль 2. Название раздела** **Полупроводниковые структуры**

Тема 9. *Название темы* **Полупроводниковые диоды.**

*Содержание темы.* Структура и основные элементы диода. Расчет вольт-амперной характеристики (ВАХ) для упрощенной модели диода. Ток насыщения диода с толстой и тонкой базой. Физический смысл параметров диода. Переходные процессы в диодах. Импульсные и частотные свойства диодов. Классификация, маркировка и условные обозначения диодов. Генерация и рекомбинация носителей заряда в электронно - дырочном переходе. Механизмы лавинного пробоя, коэффициенты лавинного умножения и пробивное напряжение. Лавинный, туннельный и тепловой пробой и их особенности.

Тема 10. *Название темы* **Выпрямительные германиевые и кремниевые диоды.**

*Содержание темы* Технология изготовления и конструкции диодов. Особенности выпрямительных, импульсных, высокочастотных и СВЧ- диодов. Эквивалентные схемы, электрические свойства, параметры и характеристики выпрямительных, импульсных, высокочастотных и СВЧ- диодов.

Тема 11. *Название темы.* **Специальные типы диодов.**

*Содержание темы* Лавинно- пролетные и туннельные диоды, структура, принцип действия и энергетические диаграммы. Свойства, параметры и характеристики диодов. Структура, принцип действия и параметры и характеристики варикапа. Влияние поверхностных состояний на вольт- амперную характеристику диода. Процессы в диодах при больших прямых токах. Переключательные и преобразовательные диоды. Стабилитроны и лавинно-пролетные диоды. Туннельные и обращенные диоды, структура и принцип действия, основные параметры, частотные свойства. Надежность и основные причины отказов диодов.

Тема 12. *Название темы* **Биполярные транзисторы.**

*Содержание темы* Структура и принцип действия, приближенная теория, учет рекомбинации и ширины базы транзистора. Управление током базы. Проводимость эмиттерного и коллекторного переходов, объемное сопротивление базы. Частотные свойства биполярных транзисторов, низкочастотная эквивалентная схема транзистора. Схемы включения и усилительные свойства транзисторов. Статические параметры транзистора, параметры активного режима и режима насыщения. Пробой транзистора.

Тема 13. *Название темы.* Триодные тиристоры.

*Содержание темы* **Структура и принцип действия тиристора, способы переключения, основные режимы работы, конструкция и технология изготовления, параметры и характеристики тиристоров. Управляемые выпрямители на базе тиристоров и тиристорные регуляторы напряжения.**

Тема 14. *Название темы.* **Полевые транзисторы.**

*Содержание темы* Полевые транзисторы с управляющим р-п- переходом и со структурой металл - диэлектрик полупроводник, полевой транзистор с изолированным затвором. Основные параметры и характеристики полевых транзисторов. Расчет выходных статических и динамических характеристик, эквивалентная схема и частотные свойства. Применение полевых транзисторов в радиоэлектронных устройствах.

Тема 15. *Название темы.* **Полупроводниковые фотоприемники.**

*Содержание темы* Внутренний фотоэффект и фотопроводимость полупроводников. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. закон нарастания и спада неравновесной концентрации. Влияние света на р-

p-переход, вольтамперные, световые и спектральные характеристики светодиодов. Нагрузочные характеристики и эффективность фотопреобразования фотогальванических элементов.

Тема 16. *Название темы.* **Полупроводниковые излучатели света.**

*Содержание темы* Инжекционная электролюминесценция, коэффициент инжекции. Параметры светодиода. Внутренний и внешний квантовые выходы и КПД светодиода. Характеристики светодиода: вольтамперная, излучательная и спектральная. Технология получения и материалы для светодиодов. Принцип действия лазера. Конструкция и технология изготовления инжекционных лазеров. Материалы для лазеров, структура энергетических зон полупроводника, прямозонные полупроводники, инверсная населенность и способы его создания. Основные характеристики и параметры лазеров.

### 5. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлению подготовки реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций, лекция-беседа, лекция- дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция, лекция-визуализация) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. В рамках учебных курсов предусмотрены также встречи с сотрудниками и специалистами Дагестанского научного центра РАН, занимающимися исследованиями электрофизических свойств полупроводников и контактных явлений в полупроводниках имеющими большой опыт работы в данном направлении, проведение ими бесед и тематических занятий.

### 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистров.

**Самостоятельная работа магистров включает:**

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ (проектов);
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки.

Разделы и темы для самостоятельного изучения	Виды и содержание самостоятельной работы
1. Зонная теория твердого тела. Особенности зонной структуры полупроводников. Электроны и дырки в полупроводниках; их эффективная масса и подвижность. Примесные атомы. Доноры и акцепторы. Основные и неосновные но-	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач

сители в полупроводниках.	
2. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Уровень Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Уравнение электронейтральности. Закон действующих масс. Зависимость уровня Ферми от температуры. Полное и частичное вырождение носителей.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
3. Электропроводность полупроводников. Основные механизмы рассеяния в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии. Подвижность, ее зависимость от температуры. Температурная зависимость электропроводности примесных полупроводников.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
4. Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Максвелловская релаксация. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках. Время жизни.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
5. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Эффект Ганна.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
6. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Собственное и примесное поглощение излучения, поглощение экситонами и свободными носителями. Фотопроводимость. Люминесценция.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
7. Диффузия и дрейф неравновесных основных и неосновных носителей заряда в полупроводниках. Уравнения непрерывности в полупроводниках. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Термо ЭДС. Эффекты Пельтье и Томпсона. Эффект Холла. Термомагнитные эффекты.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
8. Методы измерения основных электрических характеристик полупроводников ( зондовые, с использованием эффекта Холла, емкостные, мостовые, резонансные и др.).	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
9. Образование p-n перехода. Контактная разность потенциалов p-n перехода. Запорный слой. Его толщина и емкость. Статическая теория p-n перехода. Диодная теория выпрямления на p-n переходе.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
10. Диффузионная теория p-n перехода. ВАХ идеального и реального p-n перехода Причины отклонения вольтамперных характеристик от идеальных зависимостей. Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда в области перехода..	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
11. Тепловой и электрический пробой p-n перехода. Туннельный эффект в области p-n перехода. Обратимость процессов пробоя в p-n переходе.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач

12. Гетеропереходы, модели гетеропереходов, зонные диаграммы. Достоинства и недостатки гетеропереходов перед гомопереходами. Технологические проблемы создания качественных гетеропереходов.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
13. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Антизапорный (омический) контакт. Условия формирования запорного или антизапорного контактов.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
14. Электрические токи в разных средах (в вакууме, диэлектрике, полупроводнике и металле). Эмиссионные, инжекционные токи и токи ограниченные объемным зарядом.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
15. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Основы микроскопической и термодинамической теорий. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
16. Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Режимы работы и схемы включения. Статические и динамические параметры транзистора.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
17. Полевые транзисторы с изолированным затвором, с p-n переходом и с барьером Шоттки. Входные и выходные параметры и характеристики полевого транзистора.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
18. Оптоэлектронные приборы. Фотодиоды. Светодиоды. Фото-транзисторы. Полупроводниковые лазеры.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
19. Эпитаксия Si и соединений $A_3B_5$ . Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Газотранспортная, жидкофазная и молекулярно-лучевая эпитаксия.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач
20. Планарная технология. Методы получения тонких слоев материалов и их сравнительный анализ. Фотолитография и интегральные схемы. Нанотехнологии.	Фронтальный опрос; коллективный разбор отдельных вопросов и типовых задач

## 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.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОК-1	Способность совершенствоваться и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уро-	Круглый стол

	<p>вень.</p> <p>Уметь: организовать работы или руководить коллективом</p> <p>Владеть навыками делового общения</p>	
ПК-1	<p>Уметь использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры.</p> <p>Знать: основные н/т проблемы электроники</p>	Круглый стол
ПК-3	<p>Знать основные проблемы в своей предметной области, уметь выбирать методы и средства их решения;</p> <p>Владеть: информацией о современном состоянии и последних достижениях в изучаемой области.</p>	Устный опрос
ПК-6	<p>Уметь оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы;</p> <p>Знать нормативные требования составления н/т-документации</p>	Устный опрос, письменный опрос
ПК-9	<p>Уметь проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований;</p> <p>Уметь: планировать и составлять техническое задание к исследовательской работе</p>	Письменный опрос

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

### Критерии оценок знаний на экзаменах

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

**Критерии оценок** следующие:

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разяснять 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 разяснять 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 разяснять 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 разяснении 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

ОК-1

Схема оценки уровня формирования компетенции «общекультурного» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Способностью совершенствоваться и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень	Имеет представления о путях совершенствования и развития своего интеллектуального и общекультурного уровня	Демонстрирует знания о путях совершенствования и развития своего интеллектуального и общекультурного уровня	Демонстрирует навыки успешного владения путями совершенствования и развития своего интеллектуального и общекультурного уровня

## ПК-1

Схема оценки уровня формирования компетенции «общепрофессионально-го» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Способностью использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры	Ознакомлен с использованием в профессиональной деятельности базовых разделов фундаментальных и прикладных дисциплин, о создании модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.	Демонстрирует использование в профессиональной деятельности базовых разделов фундаментальных и прикладных дисциплин, о создании модели типовых профессиональных задач и умение интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.	Показывает навыки успешного использования базовых знаний фундаментальных и прикладных дисциплин при создании модели типовых профессиональных задач и умение интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

## ПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции «общепрофессионально-го» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения	Ознакомлен и имеет представления об основных проблемах, существующих в данной предметной области и о методах и средствах их решения	Демонстрирует понимание основных проблемы в своей предметной области и методов и средств их решения	Имеет четкие представления об основных проблемах, существующих в данной предметной области и предлагает некоторые варианты их решения

## ПК-6

Схема оценки уровня формирования компетенции «общепрофессионально-го» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Готовностью оформлять, представлять и доклады-	Имеет представления о правилах оформления,	Демонстрирует знание основных	Показывает навыки успешного



	вать результаты выполненной работы	представления и составлении докладао результатах выполненной научно-исследовательской работы	правил оформления, представления и составлении доклада о результатах выполненной научно-исследовательской работы	использования знание основных правил оформления, представления и составлении доклада о результатах выполненной научно-исследовательской работы
--	------------------------------------	--	--	--

ПК-9

Схема оценки уровня формирования компетенции «проектно-конструкторская деятельность» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Способностью проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований	Имеет представления о правилах проектирования устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований	Демонстрирует знание основных правил проектирования устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований	Показывает навыки успешного использования знания основных правил проектирования устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

### 7.3. Типовые контрольные задания

#### 7.3.1. Вопросы для входного контроля:

1. Предмет электростатики. Электрический заряд и его свойства, закон сохранения заряда, элементарный заряд.
2. Взаимодействие зарядов, закон Кулона. Напряженность электростатического поля и его физический смысл, напряженность поля точечного заряда.
3. Принцип суперпозиции полей, поле электрического диполя, дипольный момент.
4. Теорема Гаусса и его применение для расчета полей. Напряженность поля плоского конденсатора.
5. Работа по перемещению заряда и потенциальная энергия заряда в однородном и в неоднородном поле потенциал точки и разность потенциалов двух точек поля.

6. Связь напряженности поля и разности потенциалов. Эквипотенциальные поверхности и силовые линии поля и их свойства.
7. Емкость уединенного проводника, емкость конденсатора. Параллельное и последовательное соединение конденсаторов.
8. Энергия заряженного проводника и конденсатора. Плотность энергии электростатического поля.
9. Электрический ток, условия существования тока. Сила тока  $I$  и плотность тока  $j$ , единицы измерения  $I$  и  $j$ .
10. Зависимость плотности тока  $j$  от скорости упорядоченного движения носителей заряда и их концентрации. Подвижность носителей заряда  $\mu$ , единица измерения  $\mu$ .
11. Роль источника тока в электрической цепи, сторонние силы. Электродвижущая сила источника тока (ЭДС). ЭДС, разность потенциалов и напряжение на участке цепи.
12. Закон Ома для неоднородного и однородного участков цепи. Закон Ома для замкнутой цепи. Ток короткого замыкания.
13. Закон Ома в векторном виде. Удельная электрическая проводимость и удельное сопротивление материалов. Причина электросопротивления.
14. Зависимость сопротивления от материала, размеров и температуры. Последовательное и параллельное соединение проводников. Явление сверхпроводимости.
15. Работа и мощность тока, закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Удельная тепловая мощность.
16. Расчет разветвленной электрической цепи, правила Кирхгофа и их применение.
17. Классическая теория электропроводности металлов, свободный электронный газ. Тепловая и дрейфовая скорость свободных электронов в металле, оценка их величины.
18. Закон Ома в классической теории электропроводности металлов, удельная электропроводность и плотность тока в электронной теории.
19. Законы внешнего фотоэффекта и классическая волновая теория света. Гипотеза Эйнштейна для объяснения фотоэффекта, формула Эйнштейна. Внутренний фотоэффект и его применение.
20. Связь корпускулярных и волновых характеристик света, энергия, масса и импульс фотона. Диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств света.
21. Корпускулярно-волновой дуализм свойств микрочастиц, гипотеза де Бройля, соотношение неопределенности Гейзенберга, ограничение применимости классической механики к микрообъектам.
22. Волновая функция и его статистический смысл. Условие нормировки и дополнительные условия. Общее и стационарное уравнения Шредингера.
23. Операторы физических величин - составляющей импульса, энергии, координаты, кинетической и потенциальной энергии.
24. Электрон в потенциальной яме, уравнение Шредингера и его решение.
25. Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер, туннельный эффект.
26. Атом водорода в квантовой механике, энергия, момент импульса, проекция момента импульса.

27. Схема уровней энергии атома водорода. Квантовые числа, правила отбора. Магнитный момент электрона, гиромагнитное отношение, расщепление спектральных линий в электрическом и магнитном полях (эффекты Штарка и Зеемана).
28. Опыт Штерна и Герлаха, спин электрона. Спиновые квантовые числа.
29. Принцип неразличимости тождественных частиц. Фермионы и бозоны.
30. Распределение электронов в атоме по состояниям, принцип Паули.

### 7.3.2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

#### Вариант №1

1. Удельное сопротивление собственного германия при комнатной температуре  $\rho = 47 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 3900 \text{ см}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$ , подвижность дырок  $\mu_p = 1900 \text{ см}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$ . Найти концентрацию собственных носителей заряда. Какую нужно ввести концентрацию доноров, чтобы удельное сопротивление полупроводника снизилось до величины  $20 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ?
2. Оценить среднюю длину свободного пробега электронов в арсениде галлия при  $T = 300 \text{ К}$ , если их эффективная масса  $m_n = 0,07 m_0$ , а подвижность  $\mu_n = 0,85 \text{ м}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$ .

#### Вариант №2

1. Концентрация носителей заряда в n-германии в температурном диапазоне от  $-120$  до  $+30^\circ\text{C}$  постоянна, а подвижность электронов изменяется по закону  $\mu = \mu_0 T^{-3,2}$ . Вычислить во сколько раз изменится электропроводность германия в этом диапазоне температур.
2. Удельное сопротивление антимида индия с концентрацией дырок  $p = 10^{23} \text{ м}^{-3}$  при  $T = 300 \text{ К}$  составляет  $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , собственная концентрация  $n_i = 2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ . Определить подвижность электронов и дырок, если их отношение  $\mu_n / \mu_p = 40$ .

#### Вариант №3

1. Найти положение уровня Ферми в собственном германии при  $300 \text{ К}$ , если известно, что ширина его запрещенной зоны  $E_g = 0,665 \text{ эВ}$ , а эффективные массы плотности состояний для дырок валентной зоны и для электронов зоны проводимости соответственно равны:  $m_v = 0,388 m_0$ ;  $m_c = 0,55 m_0$ , где  $m_0$  - масса свободного электрона.
2. Вычислить собственное удельное сопротивление арсенида галлия при температурах  $300$  и  $500 \text{ К}$ , если температурные изменения подвижности  $\mu_n = 0,85 (T/300)^{-2}$ ,  $\mu_p = 0,045 (T/300)^{-2,5}$ .

#### Вариант №4

1. Определить вероятность заполнения электронами энергетического уровня, расположенного на  $10 \text{ кТ}$  выше уровня Ферми. Как изменится вероятность заполнения этого уровня электронами, если температуру увеличить в 2 раза?
2. Определить, какая концентрация атомов акцепторной примеси требуется для получения арсенида галлия с удельной проводимостью  $10 \text{ мСм}/\text{см}$  при комнатной температуре. Каково при этом отношение атомов акцепторной примеси к числу атомов галлия?

#### Вариант №5

1. Определить, на сколько различаются вероятности заполнения электронами нижнего уровня зоны проводимости в собственном германии и собственном кремнии: а) при  $300 \text{ К}$ ; б) при  $100 \text{ К}$ .

2. Сравнить относительные изменения удельных проводимостей меди и собственного германия при повышении температуры от 20 до 21 °С.

#### Вариант №6

1. Определить положение уровня Ферми при 300 К в кристаллах германия, легированных мышьяком до концентрации  $10^{23} \text{ м}^{-3}$ .
2. Определить энергию ионизации доноров в кремнии n-типа, если концентрация электронов  $n_1 = 10^{20} \text{ м}^{-3}$  при температуре  $T_1 = 50 \text{ К}$  и  $n_2 = 10^{18} \text{ м}^{-3}$  при температуре  $T_2 = 28 \text{ К}$ .

#### Вариант №7

1. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при  $T = 300 \text{ К}$ , если ширина его запрещенной зоны  $E_g = 1,12 \text{ эВ}$ , а эффективные массы плотности состояний  $m_v = 0,56 m_0$ ;  $m_c = 1,05 m_0$ .
2. На сколько увеличится удельная проводимость антимонида индия с собственной электропроводностью при изменении температуры от 20 до 21 оС, если ширина запрещенной зоны  $E_g = 0,172 \text{ эВ}$ , а подвижность электронов и дырок изменяется по закону  $T^{-3/2}$ . Коэффициент температурного изменения ширины запрещенной зоны  $b = -2,8 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$ .

#### Вариант № 8

1. Определить положение уровня Ферми и концентрацию неосновных носителей заряда при  $T = 400 \text{ К}$  в кремнии, легированном бором до концентрации  $10 \text{ м}^{-3}$ .  $A E_g = 1,12 \text{ эВ}$ ,  $m_v = 0,56 m_0$ ,  $m_c = 1,05 m_0$ .
2. На сколько увеличится удельная проводимость германия с собственной электропроводностью при изменении температуры от 20 до 21 °С, если температурная зависимость ширины запрещенной зоны имеет вид  $E_g(T) = 0,782 - 3,9 \cdot 10^{-4} T$ .

#### Вариант №9

1. Уровень Ферми в кремнии при 300 К расположен на 0,2 эВ ниже дна зоны проводимости. Рассчитать равновесную концентрацию электронов и дырок, если  $E_g = 1,12 \text{ эВ}$ ,  $m_v = 0,56 m_0$ ,  $m_c = 1,05 m_0$ .
2. Рассчитать удельное сопротивление кристаллов арсенида галлия, легированного хромом до концентрации  $2 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$  при температуре 300 К, если энергия ионизации атомов хрома  $\Delta E_a = 790 \text{ мэВ}$ , а подвижность дырок принять равной  $0,48 \mu_e$ .

#### Вариант №10

1. Уровень Ферми в германии при 300 К расположен на 0,1 эВ выше потолка валентной зоны. Рассчитать равновесную концентрацию электронов и дырок в материале, если  $\Delta E_g = 0,665 \text{ эВ}$ ,  $m_n = 0,388 m_0$ ,  $m_p = 0,55 m_0$ .
2. Через пластину кремния с удельным сопротивлением 0,01 Ом. м проходит электрический ток плотностью  $10 \text{ мА/мм}^2$ . Найти средние скорости дрейфа электронов и дырок, если их подвижности 0,14 и 0,05  $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  соответственно.

#### Вариант №11

1. В собственном германии ширина запрещенной зоны при температуре 300 К равна 0,665 эВ, а собственная концентрация носителей заряда  $2,1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ . Во сколько раз изменится собственная концентрация, если температуру повысить до 200°С? Коэффициент температурного изменения ширины запрещенной зоны  $b = -3,9 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$ .

2. Слой арсенида галлия, легированный серой, имеет при комнатной температуре удельное сопротивление  $5 \cdot 10^{-3}$  Ом·м. Определить концентрацию доноров в слое, если подвижность электронов  $0,8 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

#### Вариант №12

1. В собственном германии ширина запрещенной зоны при температуре 300 К равна 0,665 эВ. На сколько надо повысить температуру, чтобы число электронов в зоне проводимости увеличить в два раза?
2. При  $T = 300 \text{ К}$  концентрация дырок в кремнии p- типа равна  $2,1 \cdot 10^{-20} \text{ м}^{-3}$ , а концентрация электронов 100 раз меньше. Найти собственное удельное сопротивление кремния.

#### Вариант №13

1. Определить, как изменится концентрация дырок в германии, содержащем мелкие доноры в концентрации  $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ , при его нагревании от 300 до 400 К. Коэффициент температурного изменения ширины запрещенной зоны  $b = -3,9 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$ .
2. При температуре  $T = 300 \text{ К}$  собственное удельное сопротивление антимонида галлия равно 10 Ом·м. Определить собственную концентрацию носителей заряда этого полупроводника.

#### Вариант №14

1. Найти полную концентрацию ионизированных примесей  $N$  в полупроводнике n- типа, если концентрация компенсирующих акцепторов  $N_a$ , а концентрация основных носителей заряда  $n$ .
2. Диффузионная длина электронов в кристаллах кремния, арсенида галлия и германия равна 1 мм. Используя справочные данные определить время жизни электронов в этих материалах.

#### Вариант №15

1. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в арсениде галлия при температуре 300 и 500 К, если эффективные массы плотности состояний  $m_v = 0,48 m_0$ ,  $m_c = 0,067 m_0$ , а температурное изменение ширины запрещенной зоны подчиняется выражению  $E_g = 1,522 - 5,8 \cdot 10^{-4} T^2 / (T + 300)$ .
2. Вычислить диффузионную длину дырок в германии p- типа, если время жизни неосновных носителей заряда  $\tau_p = 10^{-4} \text{ с}$ , а коэффициент диффузии  $D_p = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ .

#### Вариант №16

1. Определить положение уровня Ферми при температуре  $T = 300 \text{ К}$  в арсениде галлия, легированном теллуром до концентрации  $N_{\text{Te}} = 10^{23} \text{ м}^{-3}$ , если эффективные массы плотности состояний  $m_v = 0,48 m_0$ ,  $m_c = 0,067 m_0$ .
2. Определить время жизни и подвижность электронов в невырожденном германии при температуре 300 К, если диффузионная длина электронов  $L_n = 1,5 \text{ мм}$ , коэффициент диффузии  $D_n = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ .

#### Вариант №17

1. Определить, как изменится концентрация электронов в арсениде галлия, легированном цинком до концентрации  $N_{\text{Zn}} = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ , при повышении температуры от 300 до 500 К, если полагать, что атомы цинка при 300К полностью ионизированы.

2. Вычислить диффузионную длину и коэффициент диффузии дырок в невырожденном кремнии при комнатной температуре, если время жизни дырок  $\tau_p = 10^{-4}$  с, а их подвижность  $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ .

#### Вариант № 18

1. Вычислить положение уровня Ферми при  $T = 300 \text{ К}$  в кристаллах германия, содержащих  $2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$  атомов мышьяка и  $10^{22} \text{ м}^{-3}$  атомов галлия.
2. На сколько изменится коэффициент диффузии электронов в невырожденном полупроводнике при повышении температуры на 10%, если подвижность электронов изменяется пропорционально  $T^{-3/2}$ ?

#### Вариант №19

1. Оценить тепловую и дрейфовую скорости электронов при 300 К в германии n - типа с концентрацией доноров  $N = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ , если плотность тока через образец  $j = 10^4 \text{ А/м}^2$ , а эффективная масса электронов  $m_n = 0,12 m_c$ .
2. Вычислить минимальную длину световой волны, для которой арсенид галлия, имеющий ширину запрещенной зоны 1,43 при температуре 300 К, является оптически прозрачным.

#### Вариант №20

1. Определить удельное сопротивление полупроводника p типа, если концентрация электронов проводимости в нем равна  $10^{22} \text{ м}^{-3}$ , а их подвижность  $\mu_n = 0,5 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ .
2. При температуре 300 К для излучения с длиной волны 1 мкм показатель поглощения кремния  $\alpha = 10^4 \text{ м}^{-1}$ , а коэффициент отражения излучения  $R = 0,3$ . Определить, какая доля потока излучения  $\Phi(h)$  пройдет через пластину кремния толщиной  $h = 300 \text{ мкм}$  при нормальном падении лучей.

### 7.3.3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

#### Вариант №1

1. Удельное сопротивление p- области германиевого p-n- перехода  $r_p = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , а удельное сопротивление n-области  $r_n = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Вычислить высоту потенциального барьера p-n- перехода при  $T = 300 \text{ К}$ .
2. Если к резкому p-n- переходу приложить переменное напряжение с амплитудой 0,5 В, то максимальная емкость перехода равна 2 пФ. Определить контактную разность потенциалов и минимальное значение емкости перехода, если при отсутствии внешнего напряжения она равна 1 пФ.

#### Вариант №2

1. Удельное сопротивление p- области кремниевого p-n- перехода  $r_p = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , а удельное сопротивление n-области  $r_n = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Вычислить высоту потенциального барьера p-n- перехода при  $T = 300 \text{ К}$ .
2. Барьерная емкость резкого p-n- перехода равна 200 пФ при обратном напряжении 2 В. Какое требуется обратное напряжение, чтобы она уменьшилась до 50 пФ, если  $\phi_k = 0,82 \text{ В}$ ?

## Вариант №3

1. Вычислить для температуры 300 К контактную разность потенциалов р-п-перехода в фосфиде индия, если равновесная концентрация основных носителей заряда в р- и п-областях одинаковы и равны  $10^{11} \text{ см}^{-3}$ , а собственная концентрация  $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ .
2. Какое напряжение необходимо приложить к р-п-переходу при  $T = 300 \text{ К}$ , чтобы прямой ток через него был равен обратному току насыщения  $I_c$ ? При каком прямом напряжении прямой ток  $I_{пр} = 100 I_0$ ?

## Вариант №4

1. Определить контактную разность потенциалов в р-п-переходе из арсенида галлия при 300 К, если концентрация основных носителей заряда в областях р- и п-типа одинаковы и равны  $10^{23} \text{ м}^{-3}$ , а собственная концентрация носителей заряда  $n_i = 10^{16} \text{ м}^{-3}$ .
2. Обратный ток насыщения  $I_0$  германиевого р-п-перехода площадью  $S = 1 \text{ мм}^2$  при  $T = 300 \text{ К}$  равен 10 мкА. Полагая, что ток обусловлен только электронами, вычислить диффузионную длину электронов  $L_n$  в р-области. Уровень Ферми в р-области лежит на 0,5 эВ ниже дна зоны проводимости, подвижность электронов  $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ .

## Вариант №5

1. Удельная проводимость р-области германиевого р-п-перехода  $a_p = 10^4 \text{ См/м}$  и удельная проводимость п-области  $\lambda_n = 10^2 \text{ См/м}$ . Подвижность электронов и дырок в германии соответственно равны 0,39 и 0,19  $\text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ . Вычислить контактную разность потенциалов в переходе при температуре  $T = 300 \text{ К}$ , если собственная концентрация  $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ .
2. Обратный ток насыщения  $I_0$  р-п-перехода при  $T = 300 \text{ К}$  равен  $10^{-14} \text{ А}$ . При повышении температуры до 125 °С обратный ток насыщения увеличивается в  $10^5$  раз. Определить напряжение на переходе при комнатной температуре и температуре 125 °С, если прямой ток  $I = 1 \text{ мА}$ .

## Вариант №6

1. Удельное сопротивление р-области кремниевого р-п-перехода  $\rho_p = 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и удельное сопротивление п-области  $\rho_n = 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Подвижность электронов и дырок в кремнии соответственно равны 0,13 и 0,05  $\text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ . Вычислить контактную разность потенциалов в переходе при температуре  $T = 300 \text{ К}$ , если собственная концентрация  $n_i = 1,38 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ .
2. Вычислить барьерную емкость резкого р-п-перехода, полученного в стержне арсенида галлия площадью сечения  $S = 1 \text{ мм}^2$ . Ширина области объемного заряда равна  $2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ . Относительная диэлектрическая проницаемость полупроводника 13,1.

## Вариант №7

1. Изобразить пространственное распределение зарядов и энергетические диаграммы симметричного резкого р-п-перехода для случаев: а) внешнее напряжение отсутствует; б) прямое смещение перехода; в) обратное смещение перехода. Укажите направление диффузионного электрического поля и высоту потенциального барьера р-п-перехода.
2. Равновесная высота потенциального барьера р-п-перехода равна 0,2 В, концентрация акцепторных примесей  $N_a = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  в р-области, концентра-

ция доноров в n-области много больше. Найти барьерную емкость перехода при  $U_{0,1}$  и 10 В, если площадь перехода  $1 \text{ мм}^2$ .

#### Вариант №8

1. Показать, что высота потенциального барьера р-п- перехода в невырожденном полупроводнике определяется выражением  $e\Phi_K = kT \ln(p_p p_n / n_i^2)$ , где  $p_p$  и  $p_n$ - равновесные концентрации основных носителей заряда в р и n- областях,  $n_i$ - собственная концентрация носителей заряда.
2. Высота потенциального барьера р- n- перехода при равновесии равна 0,2 В, концентрация акцепторных примесей  $N = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  в р- области, концентрация доноров в n- области много больше. Найти ширину области объемного заряда р-п- перехода при  $U_{0,1}$  и 10 В, если площадь перехода  $1 \text{ мм}^2$ . Чему она будет равна при прямом напряжении 0,1 В ?

#### Вариант №9

1. Для резкого несимметричного р-п- перехода при  $N = 2N_a$  построить распределение концентрации примесей  $N(x)$ , плотности объемного заряда  $Q$ , градиента потенциала  $d\phi/dx$  и потенциала  $\phi$  вдоль координаты  $x$ , перпендикулярной границе р-п- перехода.
2. В кремниевом резком р-п- переходе n-область имеет удельное сопротивление  $r_n = 5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , время жизни неосновных носителей заряда в ней  $\tau_p = 1 \text{ мкс}$ ; для р- области  $r_p = 0,1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ;  $\tau_n = 5 \text{ мкс}$ . Найти отношение дырочной составляющей тока к электронной. Определить плотность прямого тока при 0,3 В.

#### Вариант №10

1. Для симметричного плавного р-п- перехода с линейным распределением концентрации примеси при  $N_a = 2N_d$  построить распределение концентрации примесей  $N(x)$ , плотности объемного заряда  $Q$ , градиента потенциала  $d\phi/dx$  и потенциала  $\phi$  вдоль координаты  $x$ , перпендикулярной границе р-п- перехода.
2. В кремниевом резком р- n - переходе с концентрациями примесей  $N_a = 10^{20} \text{ м}^{-3}$  и  $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$  лавинный пробой наступает при напряженности  $6 \cdot 10^7 \text{ В/м}$ . Вычислить ширину р-п- перехода и обратное напряжение, необходимое для начала пробоя. Относительная диэлектрическая проницаемость полупроводника  $\epsilon = 12$ .

#### Вариант №11

1. Концентрация доноров и акцепторов в n- и р- областях резкого р-п- перехода соответственно равна  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и  $10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Определить контактную разность потенциалов и плотность обратного тока насыщения, полагая, что при комнатной температуре коэффициенты диффузии для неосновных электронов и дырок составляют 100 и 50  $\text{см}^2/\text{с}$  соответственно, а диффузионная длина  $L_n = L_p = 0,8 \text{ см}$ . Собственная концентрация носителей  $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ .
2. Кремниевый р-п- переход имеет площадь поперечного сечения  $S = 1 \text{ мм}^2$  и барьерную емкость  $C_{бар} = 300 \text{ пФ}$  при обратном напряжении  $U_{обр} = 10 \text{ В}$ . Определить максимальную напряженность электрического поля в области объемного заряда. Как изменится емкость, если  $U_{обр}$  увеличить в два раза? Относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ .

#### Вариант №12

1. Удельная проводимость р- области кремниевого р-п- перехода  $\sigma_p = 10^3 \text{ См/м}$  и удельная проводимость n- области  $\sigma_n = 20 \text{ См/м}$ . Время жизни неосновных



носителей заряда  $5$  и  $1$  мкс в р- и п- областях соответственно. Определить отношение дырочной составляющей тока в р-п- переходе к электронной. Полагать, что  $T = 300$  К,  $n_i = 1,4 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 0,12 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ , подвижность дырок  $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

- Барьерная емкость резкого р-п- перехода равна  $25$  пФ при обратном напряжении  $5$  В. Как она изменится при увеличении обратного напряжения до  $7$  В?

#### Вариант №13

- Удельная проводимость р- области кремниевого р-п- перехода  $a_p = 10^3 \text{ См/м}$  и удельная проводимость п- области  $a_n = 20 \text{ См/м}$ . Время жизни неосновных носителей заряда  $5$  и  $1$  мкс в р- и п- областях соответственно. Определить плотность обратного тока насыщения и плотность тока через р-п- переход при прямом напряжении  $0,3$  В. Полагать, что  $T = 300$  К,  $n_i = 1,4 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 0,12 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ , подвижность дырок  $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .
- Определить барьерную емкость и ширину р-п- перехода в арсениде индия при  $T = 300$  К, если концентрация основных носителей заряда:  $p_p = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ;  $n_n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , относительная диэлектрическая проницаемость  $\text{InAs}$   $\epsilon = 14,6$ , площадь поперечного сечения перехода  $S = 0,01 \text{ см}^2$ . Приложено обратное смещение  $U_{\text{обр}} = 100$  В.

#### Вариант №14

- Германиевый р-п- переход имеет обратный ток насыщения  $1$  мкА, а кремниевый р-п- переход таких же размеров - обратный ток насыщения  $10^{-8}$  А. Вычислить и сравнить прямые напряжения  $U_{\text{пр}}$  на переходах при  $T = 293$  К и токе  $100$  мА.
- Обратный ток насыщения контакта металл - полупроводник с барьером Шоттки  $I_0 = 2$  мкА. Контакт соединен последовательно с резистором и источником постоянного напряжения  $U_{\text{ист}} = 0,2$  В. Определить сопротивление резистора  $R$ , если падение напряжения на нем  $U_R = 0,1$  В, температура  $T = 300$  К.

#### Вариант №15

- Германиевый р-п- переход имеет обратный ток насыщения  $1$  мкА, а кремниевый р-п- переход таких же размеров - обратный ток насыщения  $10^{-8}$  А. Вычислить и сравнить прямые и обратные сопротивления германиевого и кремниевого р-п- перехода при  $T = 293$  К и  $U_{\text{обр}} = 5$  В.
- На поверхности кремния р- типа существует обедненный слой, причем концентрация электронов считается пренебрежимо малой. Найти толщину области объемного заряда при  $300$  К, если величина поверхностного потенциала  $\psi_s = 0,25$  В, а концентрация мелких ионизованных акцепторов в объеме  $N = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

#### Вариант №16

- Ток, проходящий через р-п- переход при большом обратном напряжении и  $T = 300$  К, равен  $2 \cdot 10^{-7}$  А. Найти ток при прямом напряжении  $0,1$  В.
- Найти поверхностный потенциал для собственного германия при комнатной температуре, если концентрация адсорбированной на его поверхности донорной примеси  $N_d = 10^9 \text{ см}^{-2}$ . Считать доноры полностью ионизованными,  $n_i = 2,2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ,  $\epsilon = 16$ ,  $e\phi/kT \ll 1$ .

#### Вариант №17

1. Вычислить прямое напряжение на р-п- переходе при токе 1 мА, если обратный ток насыщения при комнатной температуре равен: а) 1 мкА; б) 1 нА.
2. Вычислить поверхностный потенциал для кремния n-типа, если на поверхности адсорбированы доноры, концентрация которых  $= 10^{11} \text{ см}^{-2}$ . Считать все доноры ионизованными,  $n = 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ,  $v = 12$ ,  $e\phi/kT \gg 1$ ,  $T = 300 \text{ К}$ .

#### Вариант №18

1. Резкий р-п- переход имеет площадь поперечного сечения  $S = 1 \text{ мм}^2$ . Удельное сопротивление n- области 5 Ом см, а время жизни неосновных носителей заряда в нем  $\tau = 50 \text{ мкс}$ . Удельное сопротивление р- области несколько раз меньше. Определить обратный ток р-п – перехода и прямое напряжение при токе 1 мА.
2. Определить при температуре  $T = 300 \text{ К}$  контактную разность потенциалов кремниевого р-п- перехода, если концентрация примесей  $N = 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ,  $N = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ .

#### Вариант №19

1. Обратный ток насыщения при  $T = 300 \text{ К}$  р-п- перехода в арсениде галлия равен 2,5 мкА. Определить сопротивление р-п-перехода при прямом напряжении 0,1 В. Построить прямые ветви вольт- амперной и вольт- омной характеристик.
2. Вычислить плотность заряда на поверхности германия n-типа, если изгиб зон на поверхности составляет  $e\phi_s = 10 \text{ кТ}$ ;  $T = 300 \text{ К}$ ,  $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $v = 16$ . Определить концентрацию акцепторных уровней, создающих этот заряд, считая акцепторы полностью ионизованными.

#### Вариант №20

1. Определить концентрацию акцепторных примесей в р- области р-п- перехода и концентрацию донорных примесей в n-области, если известно, что при комнатной температуре (300 К) удельные проводимости областей  $\lambda_n = 1 \text{ См/см}$ ;  $\lambda_p = 100 \text{ См/см}$ .
2. Определить плотность заряда, адсорбированного на поверхности собственного кремния, если при адсорбции работа выхода уменьшилась на  $\Delta A_\phi = 0,13 \text{ эВ}$ ;  $n_i = 1,05 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ ,  $\epsilon = 12$ ,  $T = 300 \text{ К}$ .

### 7.3.4 Итоговый контроль (вопросы к экзамену)

#### *Граздел: Элементы статистики электронов и дырок в полупроводниках и зонной теории*

1. Термодинамический и статистический методы описания состояния коллектива микрочастиц. Невырожденные и вырожденные коллективы, фермионы и бозоны. Классическая и квантовая статистики.
2. Фазовое пространство и фазовая точка, элементарный объем фазового пространства, элементарная ячейка фазового пространства.
3. Число элементарных ячеек в пространстве импульсов, число состояний микрочастицы в шаровом слое импульсов и в интервале энергий от  $E$  до  $E + dE$ , плотность состояний  $g(E)$ .
4. Функции распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Полная функция распределения электронного газа.

5. Полная концентрация невырожденных электронов при данной температуре, функция распределения Максвелла-Больцмана, выраженная через концентрацию электронов.
6. Полные функции распределения микрочастиц по энергиям и по скоростям, выраженные через концентрацию электронов.
7. Правила статистического усреднения характеристик движения микрочастиц по коллективу, нахождение средних величин. Средняя энергия теплового движения микрочастиц.
8. Средняя арифметическая, средняя квадратичная и наиболее вероятная скорости микрочастиц.
9. Вырожденный электронный газ в металле. Полная функция распределения вырожденного газа фермионов. Функция распределения и концентрация электронов в металле при абсолютном нуле температуры ( $T=0K$ ). Энергия уровня Ферми и средняя энергия электронов при  $T=0K$ .
10. Влияние температуры на распределение вырожденного газа фермионов, размытие ступеньки фермиевского распределения. Графики зависимостей  $f(E)$  и  $n(E)$  при  $T=0K$  и  $T>0K$ .
11. Доля электронов, подвергшихся тепловому возбуждению при данной температуре. Теплоемкость электронного газа (классического и квантового). Вклад электронного газа в теплоемкость кристалла.
12. Характер энергетического спектра отдельных атомов. Следствия сближения атомов и образования кристалла. Схема уровней кристалла натрия  $Na_{11}$ , изменения энергетических барьеров для электронов между атомами, коллективизированный электронный газ в металле.
13. Образование энергетических зон в кристалле, разрешенные и запрещенные зоны энергий. Валентная зона и зона проводимости. Характер заполнения электронами энергетических зон в металле и полупроводнике.
14. Проводимость полупроводников собственная и примесная, активационный характер электропроводности полупроводников. Основные типы примесей в полупроводниках и их свойства.
15. Концентрация электронов и дырок в невырожденном полупроводнике, эффективная масса и эффективная плотность состояний электронов и дырок.
16. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. Графики зависимостей  $n_i(T)$  и  $\ln n_i = f(1/T)$ , определение энергии активации полупроводника по температурной зависимости электропроводности.
17. Закон действующих масс, концентрации основных и неосновных носителей заряда в полупроводнике, зависимость их от ширины запрещенной зоны полупроводника, уровня легирования и температуры.

### *Раздел II: Контактные явления*

18. Потенциальный барьер у поверхности кристалла и работа выхода электронов, причины их появления. Влияние состояния поверхности металла на величину работы выхода.

19. Потенциальная энергия  $U$  валентных электронов внутри и вне металла и потенциал точки  $\varphi$ , где находится электрон. Влияние внешнего потенциала (избыточного заряда, сообщенного полупроводнику) на величины  $U$  и  $\varphi$ .
20. Явление термоэлектронной эмиссии, вольтамперная характеристика вакуумного диода, закон « $3/2$ », ток насыщения, формула Ричардсона-Дэшмана. Применение явления.
21. Контакт двух металлов, зонные схемы до и после контакта. Внешняя и внутренняя контактные разности потенциалов и их значение в работе электронных приборов.
22. Контакт металл-полупроводник ( $Me-n/n$ ), зонные схемы до и после контакта. Формирование слоя объемного заряда на границе раздела, свойства контактного слоя.
23. Различные случаи контактов  $Me-n/n$ , омический контакт и барьер Шоттки. Прямое и обратное смещение барьера Шоттки и механизмы токопрохождения через барьер, ВАХ контакта.
24. Образование электронно-дырочного ( $p-n$ ) перехода. Распределение концентрации носителей заряда, плотности объемного заряда, напряженности поля и потенциала в  $p$  и  $n$  – областях.
25. Вывод выражения для контактной разности потенциалов  $\varphi_k$ , зависимость концентрации неосновных носителей заряда от величины  $\varphi_k$  и приложенного напряжения.
26. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда через  $p-n$ - переход. ВАХ идеального  $p-n$ - перехода, прямая и обратная ветви ВАХ, ток насыщения.
27. Вольт-амперная характеристика реального диода, причины отклонения от идеальности. ВАХ при генерации и рекомбинации носителей заряда в  $p-n$  – переходе.
28. Туннелирование носителей заряда через переход. Виды пробоя в  $p-n$  – переходе.

### *Раздел III. Полупроводниковые приборы*

29. Специальные типы диодов. Выпрямительные германиевые и кремниевые диоды, технология изготовления, конструкции и характеристики диодов.
30. Импульсные диоды, стабилитроны, туннельные диоды и варисторы. Электрические свойства, параметры и характеристики диодов.
31. Полупроводниковые гетеропереходы. Энергетические диаграммы изотипных и анизотипных гетеропереходов. Расчет идеальной зонной схемы по модели Андерсена.
32. Механизмы токопрохождения через идеальные и реальные гетеропереходы. Особенности свойств ГП, технологические проблемы при изготовлении гетеропереходов.
33. Контакт «металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Особенности строения поверхности полупроводников, причины возникновения поверх-

- ностных уровней (состояний), искривление энергетических зон у поверхности.
34. Зависимость поверхностной электропроводности от поверхностного потенциала. Эффект поля и его применение. Структура и технология изготовления контакта МДП.
  35. Биполярные транзисторы, структура и типы транзисторов, условно графическое обозначение. Режимы работы и схемы включения транзистора.
  36. Движение носителей заряда в транзисторе, коэффициенты передачи тока эмиттера и тока базы и связь между ними. Входные и выходные характеристики.
  37. Усилительные свойства транзистора, однокаскадный усилитель постоянного и переменного тока на биполярном транзисторе.
  38. Тиристоры. Структура и принцип действия тиристора, способы переключения, основные режимы работы, конструкция и технология изготовления, параметры и характеристики.
  39. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом, устройство, схема включения, электронные процессы и принцип управления током стока. Входные и выходные характеристики транзистора.
  40. Полевые транзисторы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). МДП – транзисторы с индуцированным и встроенным каналом, устройство, схема включения, электронные процессы и принцип управления током стока. Условно графические обозначения полевых транзисторов.
  41. Полупроводниковые излучатели. Прямозонные и непрямозонные полупроводниковые материалы и оптические переходы в них. Инжекционная электролюминесценция, процессы в прямосмещенном р-п-переходе.
  42. Механизмы излучательной и безызлучательной рекомбинации, Коэффициент инжекции и внутренний квантовый выход. Излучательные и спектральные характеристики светоизлучающих диодов.
  43. Полупроводниковые фотоприемники. Внутренний фотоэффект и фотопроводимость полупроводников. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда, закон нарастания и спада неравновесной концентрации.
  44. Вольтамперные, световые и спектральные характеристики фоторезисторов (ФР). Параметры ФР: постоянная времени нарастания и спада фотопроводимости, темновое сопротивление, кратность фотоотклика, удельная интегральная чувствительность.
  45. Полупроводниковые фотоэлементы на основе р-п-перехода, нагрузочные вольтамперные характеристики, определение тока короткого замыкания, ЭДС холостого хода, оптимальной нагрузки и КПД фотоэлемента.
  46. Световые, спектральные и частотные характеристики фотоэлемента и фотодиода. Методы изготовления и области применения фотоприемников.
  47. Перспективы развития современной микро- и нанoeлектроники и нанотехнологий. Обзор по пройденным темам.

### 7.3.5. Перечень вопросов для проверки остаточных знаний

1. В чем различие между электронами проводимости и свободными?
2. Что такое разрешенные и запрещенные энергетические зоны, ширина запрещенной зоны?
3. Что характеризует уровень Ферми и собственный полупроводник?
4. Чему равно произведение концентрации электронов и дырок в невырожденном полупроводнике при термодинамическом равновесии?
5. Что такое подвижность носителей заряда? Почему подвижность электронов больше подвижности дырок?
6. Объясните механизмы электропроводности собственных и примесных полупроводников.
7. Какими формулами определяются концентрации свободных электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне?
8. Как определяются эффективная плотность состояний в зоне проводимости и в валентной зоне?
9. Как меняется положение уровня Ферми в примесном полупроводнике от температуры?
10. Какими физическими факторами объясняется температурная зависимость подвижности носителей заряда?
11. Какой вид имеют графики зависимости логарифма концентрации носителей от обратной температуры для различных значений концентрации примеси?
12. Какие процессы называются диффузией и дрейфом носителей заряда?
13. Что такое диффузионная длина и длина свободного пробега носителей заряда?
14. Как изменяется ширина запрещенной зоны полупроводника при изменении температуры?
15. Почему при контакте двух полупроводников разного типа проводимости начинается процесс диффузии основных носителей заряда?
16. Чем определяется высота потенциального барьера на границе контакта двух полупроводников?
17. Что является причиной возникновения дрейфовых токов при контакте двух полупроводников?
18. Почему удельное сопротивление р-п-перехода значительно больше, чем у контактирующих полупроводников?
19. Как изменяется удельное сопротивление р-п-перехода при подаче на него внешнего напряжения в прямом и обратном направлении?
20. Какие процессы называются инжекцией и экстракцией неосновных носителей заряда?
21. Как распределяется напряженность электрического поля и потенциалы в резком и плавном р-п-переходах?
22. Как изменяется толщина р-п-перехода при подаче на него внешнего напряжения в прямом и обратном направлении?
23. Что такое барьерная емкость р-п-перехода?
24. В каких условиях контакт металл-полупроводник будет выпрямляющим?
25. Как построить энергетическую диаграмму гетероперехода?
26. Постройте качественную картину зонных схем изотипного и анизотипного гетеропереходов.
27. Какими основными преимуществами обладают гетеропереходы?
28. Чем отличаются вольтамперные характеристики диодов с толстой и тонкой

29. базами?
30. Что такое диффузионная емкость диода?
31. Как изобразить графически распределение концентрации доноров и акцепторов, распределение концентрации основных и неосновных носителей заряда и распределение плотности объемного заряда в несимметричном резком p-n- переходе?
32. Нарисовать равновесную зонную схему p- n -перехода и изменения напряженности поля и потенциала в переходе.
33. Какой вид имеет зонная схема при прямом и обратном включении p -n- перехода?
34. Как определяется толщина резкого p- n перехода, каким выражением определяется вольт-амперная характеристика тонкого p- n - перехода?
35. Каким выражением определяется плотность тока насыщения в тонком p-n- переходе?
36. Каковы особенности теплового, лавинного и туннельного пробоя ?
37. В чем состоят основные отличия свойств и параметров кремниевых и германиевых выпрямительных диодов?
38. Каков принцип действия стабилитронов и стабисторов?
39. Каков принцип действия туннельных диодов?
40. Каким образом в транзисторе происходит усиление электрических колебаний по мощности?
41. Почему транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером, может обеспечить усиление по току?
42. Как объяснить вид входных и выходных статических характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой и общим эмиттером?
43. Какие факторы определяют инерционность транзистора при его работе на высоких частотах?
44. Какие существуют эквивалентные схемы транзистора?
45. Каковы структура и вид вольт- амперной характеристики тиристора? Виды тиристоров, способы их переключения и параметры.
46. Параметры, характеризующие основные свойства полевых транзисторов. Как можно объяснить усиление по мощности в схеме с полевым транзистором?
47. Какие отличия существуют в структуре МДП- транзисторов с индуцированным и встроенным каналами?
48. Каков принцип действия приборов с зарядовой связью, каков смысл основных параметров приборов?
49. Каким образом происходит непосредственное преобразование электрической энергии в световую в светодиоде?
50. Какими параметрами можно характеризовать различные свойства светодиодов? Каков принцип действия полупроводникового лазера?
51. Каковы отличия в принципе действия и в свойствах полупроводникового лазера и светодиода?
52. Как объяснить спектральную характеристику фоторезистора?
53. Как в фотоэлементе происходит непосредственное преобразование световой энергии в электрическую?
54. Как могут быть связаны между собой элементы оптронной пары?

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

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

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 10 баллов,
- выполнение лабораторных заданий – 15 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 15 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 20 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 15 баллов.

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

а) основная литература:

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела: Уч.рук-во.- М.: Наука. 2001г.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников: Учеб.руководство.- М.: Наука. 2002г.
3. Новиков В.В. Теоретические основы микроэлектроники: Учеб.руководство.- М., ВШ., 2005г.
4. Епифанов Г.И. Физические основы микроэлектроники: Учеб.руководство.- М., Сов.рад. 2002г
5. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, т. I и II

б) дополнительная литература:

6. Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов: Учеб. руководство. - М., Наука, 2000г.
7. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учеб.руководство.- М., ВШ., 1990г.
8. Федотов Я.А., Основы физики полупроводниковых приборов Учеб.руководство.- М., Сов.радио, 1969г.
9. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учеб.руководство.- М., Сов.радио, 1980г.
10. Милнс А. Д., Фойхт Гетеропереходы и переходы Ме-полупроводник : Учеб.руководство. - М., Мир, 2000г.
11. Пека Г.П. Физика поверхности полупроводников; Учеб.руководство.- Из-во Киев -го ун-та, 1967г.
12. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника : Учеб.руководство. - М., «Радио и связь» 1989г.

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

1. Международная база данных Scopus по разделу физика столкновений и элементарные процессы <http://www.scopus.com/home.url>



2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier по тематике элементарные процессы <http://www.sciencedirect.com/>
3. Ресурсы Российской электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru), включая научные обзоры журнала Успехи физических наук [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru)
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>

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

1. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учеб.руководство. - М., ВШ, 2000г.
2. Лысов В.Ф. Практикум по физике полупроводников. Учебное пособие. М., «Просв», 1976, 207 с.
3. Специальный физический практикум, ч.2, под редакцией А.А. Харламова, издание 3. Из-во Моск.ун-та, 1977 г.
4. Твердотельная электроника и контактные явления: учебно-методическое пособие. Лабораторный практикум (часть1) / сост. Алиев И.Ш., Исмаилов А.М., Гасанова Р.Н. – Махачкала: Изд-во ДГУ, 2015. –77с.

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

1. Компьютерное и мультимедийное оборудование в ходе изложения лекционного материала;
2. Пакет прикладных обучающих и контролирующих программ, используемых в процессе обучения;
3. Конспекты лекций и справочной литературы.

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

Лаборатории физики полупроводников №2-4 и физики и технологии тонких пленок и №1-15 кафедры «Физической электроники», где будут работать магистры, обеспечены необходимыми приборами. Есть возможность допуска учащихся к научным установкам по следующим темам (*приборы и оборудование учебного назначения*):

1. Ионное распыление металлов (легкоплавких и тугоплавких);
2. Определение удельного сопротивления образцов, его температурной зависимости;
3. Травление поверхности кристаллов, оценка дефектности его структуры.
4. Высокотемпературный отжиг подложки с целью восстановления их монокристалличности после механической обработки.
5. Получение эпитаксиальных слоев и пленок методом магнетронного распыления;

6. Получение эпитаксиальных слоев и пленок методом осуществление химических транспортных реакций;
7. Оценка совершенства структуры и ориентаций растущей пленки ;
8. Холловская установка для определения подвижности и концентрации носителей заряда в объемных и пленочных образцах полупроводников и др.
9. Получение контактов типа «Me – полупроводник» и «Полупроводник - полупроводник» и исследование их электрических, фотоэлектрических свойств.
10. Исследование влияния легирования примесями на свойства полупроводниковых пленок.