



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

Физический факультет
Кафедра инженерной физики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра инженерной физики

Образовательная программа бакалавриата
11.03.04- Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) программы:
Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения:
Очная

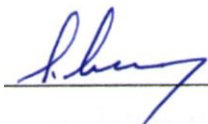
Статус дисциплины:
Входит в обязательную часть

Махачкала, 2022 г

Рабочая программа дисциплины «Физические основы электроники» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОСВО – бакалавриат по направлению подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника** от 19 сентября 2017 г. № 927 (с изменениями и дополнениями №1456 от 26.11.2020 г., 8 февраля 2021 г. №83).

Разработчик: кафедра инженерной физики, д.ф.м.н., проф. **Садыков С.А.**

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры Инженерная физика от «22» 03 2022 г.,
протокол № 7

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

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

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим

управлением « 30 » 03 2022 г.  Гасангаджиева А.Г.

.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация рабочей программы

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.
4. Объем, структура и содержание дисциплины
5. Образовательные технологии
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины
 - 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы
 - 7.2. Типовые контрольные задания
 - 7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Физические основы электроники» входит в обязательную часть основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (Б1.О.04 – Базовый модуль направления). Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Содержание дисциплины направлено на ознакомление студентов с основами зонной теории и физическими процессами в полупроводниках и полупроводниковых структурах, принципами работы современных полупроводниковых приборов, их основных свойств и характеристик.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общепрофессиональных:

- Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности (ОПК-1);
- Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных (ОПК-2).

профессиональных:

Способен разработать комплект конструкторской и технической документации на изделия «система в корпусе» (ПК-3):

- Способен разработать технические описания на отдельные блоки и систему в целом (ПК-3.1);
- Способен разработать подготовить функционального описания, инструкции по типовому использованию и назначению изделий "система в корпусе" (ПК-3.2).

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости: тестирование, индивидуальное собеседование, письменные контрольные задания и пр. и промежуточный контроль в форме зачета и экзамена.

Объем дисциплины 9 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий 324 часа.

Сем ест р	Учебные занятия							Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирова нный зачет, экзамен
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем						СРС, в том числе экзамен	
	Все го	из них						
Лекц ии		Лаборатор ные занятия	Практич еские занятия	СР	контро ль			
6,7	324	62	78	60	88	36		
6	108	28	28	26	26			зачет
7	216	34	50	34	62	36		экзамен

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физические основы электроники» являются формирование у студентов знаний о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе принципов действия элементной базы твердотельной электроники, ознакомление с принципами действия, конструктивно-технологическими особенностями, основными характеристиками и параметрами приборов микроэлектроники и твердотельной электроники.

Электроника представляет собой обширную область техники, базирующуюся на изучении физических явлений в полупроводниках, диэлектриках, вакууме, газе, плазме и т. д., для создания на их основе разнообразных изделий с электронными компонентами. Увеличение объема информации и ограниченность учебного времени при изучении дисциплин твердотельной электроники обуславливают необходимость интенсификации обучения, разработки и внедрения современной методики обучения. Традиционные задачи электроники: моделирование изучаемых процессов и явлений, управление, диагностика, становятся наиболее понятны и доступны студентам благодаря использованию информационных технологий в процессе обучения.

В этой связи, применение программных и информационных продуктов в процессе обучения повышает эффективность освоения теоретических основ электроники, принципов действия полупроводниковых приборов и устройств, а также практических навыков при выполнении задач профессиональной деятельности.

Основные разделы программы курса: основы зонной теории полупроводников, физические основы работы полупроводниковых приборов, контактные явления в полупроводниках, полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, тиристоры, МПД – транзисторы, полевые транзисторы с управляющим переходом, полупроводниковые излучатели и фотоприемники, полупроводниковые резисторы и преобразователи, сведения по надежности полупроводниковых приборов.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Физические основы электроники» в структуре ОПОП ВО входит в обязательную часть образовательной программы (Базовый модуль направления). Для освоения дисциплины «Физические основы электроники» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда предшествующих дисциплин, таких как:

- Теоретические основы электротехники
- Введение в физику полупроводников
- Материалы электронной техники
- Нанoeлектроника
- Наноструктурные материалы.

Использование современных интерактивных программных комплексов для выполнения и редактирования схем, изображений и чертежей (OriginGraph, MathCad, MicrosoftVisio, LabView,), использование сетевых технологий (ZOOM, MicrosoftTeams), использование «облачных» технологий для хранения и обмена информацией.

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

Код компетенции из ФГОС	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-1. Способен использовать	ОПК-1.1. Анализирует и обрабатывает	Знает: -физико-математический аппарат, необходимый для решения задач	Устный опрос. Письменный

положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	научно-техническую информацию по естественным наукам и математике для решения поставленной инженерной задачи	профессиональной деятельности Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта Владеет: - навыками критического анализа научно-технической литературы в сфере профессиональной деятельности	ый опрос (тестирование) Проверка рефератов Выступление на семинарах. Промежуточный контроль по модулю
	ОПК-1.2. Использует положения, законы и методы естественных наук и математики для решения поставленной инженерной задачи	Знает: - основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности Умеет: - применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера Владеет: - навыками находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи.	Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проверка рефератов Выступление на семинарах. Промежуточный контроль по модулю
ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.	ОПК-2.1. Планирует экспериментальные исследования для решения поставленной задачи	Знает: - методы планирования эксперимент для решения поставленной задачи Умеет: - рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки Владеет: - навыками формулировать в рамках поставленной цели совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение.	Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проверка рефератов Выступление на семинарах. Промежуточный контроль по модулю
	ОПК-2.2. Самостоятельно проводит экспериментальные исследования, использует	Знает: - основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации - основные приемы обработки и представления экспериментальных	Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проверка

	основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	данных Умеет: - выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования - использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных Владеет: - проведения экспериментальных исследований для решения поставленных инженерных задач - способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений	рефератов Выступление на семинарах. Промежуточный контроль по модулю
ПК-3. Способен разработать комплект конструкторской и технической документации и на изделия «система в корпусе»	ПК-3.1. Способен разработать технические описания на отдельные блоки и систему в целом	Знает: - аналоговую и цифровую схемотехнику, схемотехнику импульсных схем, схемы смешанного сигнала; - электронную компонентную базу производства изделий "систем в корпусе" и микросборок; - принципы использования физических эффектов в твердом теле, в приборах и устройствах твердотельной электроники; - физические эффекты и процессы, лежащие в основе принципов действия полупроводниковых и оптоэлектронных приборов; - физические процессы, происходящие в различных контактах (электронно-дырочном переходе, контакте металл-полупроводник и гетеропереходе), физический смысл их основных параметров; - устройство и принцип действия, схемы включения и режимы работы основных приборов (диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров), вид статических характеристик и их семейств в различных схемах включения. - требования к оформлению технологической документации для изготовления опытного образца изделий "система в корпусе" и микросборок; - программные продукты для разработки технических описаний и конструкторской документации; - основные этапы проектирования и технологии изготовления изделий "система в корпусе" и микросборок; - технический английский язык в области микро- и нанoeлектроники;	Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проведение рефератов Выступление на семинарах. Промежуточный контроль по модулю

		Умеет: - анализировать требования технического задания на разработку изделий "система в корпусе" и микросборок; - находить значения электрофизических параметров полупроводниковых материалов в справочной литературе и оценивать их влияние на характеристики и параметры приборов; - оформлять техническую документацию на проектирование и конструирование изделий "система в корпусе" и микросборок; - разрабатывать структурные и функциональные схемы на основе электрической схемы; - составлять описание схем и технических условий эксплуатации; - пользоваться специальным программным обеспечением для разработки технических описаний и конструкторской документации на изделия "система в корпусе". Владеет: - опытом разработки технических описаний структурной схемы, электрической схемы, технических условий функционирования отдельных блоков; - навыками обосновать выбор электронных компонентов для отдельных блоков изделий "система в корпусе"; - опытом описания отдельных компонентов блоков, их характеристик и технических условий эксплуатации; - навыками разработки функциональных схем отдельных блоков изделий "система в корпусе"; - навыками разработки описания структурной схемы и технических условий функционирования изделий "система в корпусе"	
	ПК-3.2. Способен разработать подготовить функционального описания, инструкции по типовому использованию и назначению	Знает: - общие правила составления инструкций для пользователей изделий "система в корпусе" и микросборок; - техника и электроника в которой применяются изделия "система в корпусе" и микросборки; - аналоговая и цифровая схемотехника, схемотехника импульсных схем, схемы смешанного сигнала;	Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проверка рефератов Выступление на

	изделий "система в корпусе"	- технологические процессы монтажа элементов на кристалл и применяемые для этого материалы; - физико-химические свойства материалов, применяемых в микроэлектронике; - технический английский язык в области микро- и нанoeлектроники; Умеет: - разрабатывать нормативно-техническую документацию для "систем в корпусе" и микросборок; - определять экологическую пригодность выпускаемой продукции. Владеет: - навыками разработка описания типовых функций, выполняемых при изготовлении изделий "система в корпусе"; - навыками разработки типовых схем включения изделий "система в корпусе"; - навыками разработки инструкций для пользователей изделий "система в корпусе".	семинарах. Промежуточный контроль по модулю
--	--------------------------------	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 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			
	Модуль 1. <i>Физические основы полупроводниковой электроники</i>									
1	Физические основы работы приборов полупроводниковой электроники.	6		10	8	10		8	Домашнее задание (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая система (РС)	
	Модуль 2. <i>Электрические переходы</i>									
2	Контактные явления в полупроводниках	6		8	12	6		10	(ДЗ), (С), (РС)	
	Модуль 3. <i>Полупроводниковые диоды</i>									
3	Полупроводниковые	6		10	6	16		4	(ДЗ), (С), (РС)	

	диоды							
	ИТОГО: 6 – сем.			28	26	28		26
	Модуль 4. Биполярные транзисторы.							
4	Биполярные транзисторы	7		6	8	10		12 (ДЗ), (С), (РС)
	Модуль 5. Тиристоры.							
5	Тиристоры	7		4	6	8		18 (ДЗ), (С), (РС)
	Модуль 6. МПД-транзисторы.							
6	МПД-транзисторы	7		8	6	8		14 (ДЗ), (С), (РС)
	Модуль 7. Полевые транзисторы.							
7	Полевые транзисторы с управляющим переходом	7		6	8	12		10 (ДЗ), (С), (РС)
	Модуль 8. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы							
8	Полупроводниковые излучатели и фотоприемники	7		10	6	12		8 (ДЗ), (С), (РС)
9	Модуль 9. Подготовка к экзамену						36	
	ИТОГО: (7 сем.)			34	34	50	36	62
	Всего: 324			62	60	78	36	88

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

6-семестр

Модуль 1.

Физические основы полупроводниковой электроники

Тема 1. Основы зонной теории полупроводников.

Уравнение Шрёдингера для кристалла, одноэлектронное приближение. Зоны разрешенных значений энергии электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна. Движение носителей заряда в кристалле под действием электрического поля, понятие эффективной массы. Локализованные состояния. Элементарная теория примесных состояний. Поверхностные состояния. Зонная структура некоторых полупроводников.

Тема 2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.

Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация электронов и дырок. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Уравнение электронейтральности. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации носителей заряда в полупроводнике, легированном одним типом примеси, в компенсированном полупроводнике. Вырожденные и частично вырожденные полупроводники.

Тема 3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводниках.

Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия основных и неосновных неравновесных носителей заряда. Биполярный коэффициент диффузии. Биполярная дрейфовая подвижность. Распределение концентрации избыточных носителей заряда в полупроводнике в зависимости от скорости поверхностной рекомбинации. Инжекционные токи в твердых телах.

Тема 4. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Спектр отражения и спектр поглощения оптического излучения. Собственное поглощение света, прямые и не прямые переходы. Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводников. Экситонное поглощение, поглощение свободными носителями заряда, примесное и решеточное поглощение. Фоторезистивный эффект, квантовый выход, коэффициент усиления. Зависимость фототока от интенсивности света, кинетика фототока.

Модуль 2.

Тема 5. Электрические переходы.

Электронно-дырочный (р-п) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в р-п-переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. Прямое и обратное включение р-п-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Формула Шокли. Методы формирования и классификация р-п-переходов.

Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Их энергетические диаграммы при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника. Барьер Шотки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. Структура реального невыпрямляющего контакта.

Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Требования к материалам гетеропары. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.

Демонстрация вентильных свойств и вольт-амперная характеристика р-п перехода и их расчет с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

Модуль 3.

Тема 6. Полупроводниковые диоды

Структура и основные элементы полупроводникового диода. Вольтамперная характеристика с учетом падения напряжения на сопротивлении базы. Генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п-переходе. Влияние поверхностных состояний на вольт амперную характеристику. Лавинный, туннельный и тепловой пробой. Барьерная и диффузионная емкости диода. Физическая эквивалентная схема. Переходные процессы в диоде при больших и малых уровнях сигналов.

Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные плоскостные, высокочастотные, импульсные диоды: конструктивно-технологические особенности, электрические свойства. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабилитроны, диоды Шотки, варикапы: принцип действия, конструкция, свойства, применение.

Демонстрация вольт-амперная характеристика диодов и их расчет с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

7- семестр

Модуль 4.

Тема 7. Биполярные транзисторы.

Структура, принцип действия, схемы включения транзистора. Энергетическая диаграмма при нормальном включении. Коэффициенты передачи токов эмиттера и базы. Пробой транзистора.

Статические характеристики транзистора. Системы статических характеристик. Модель Эберса-Молла. Входные и выходные характеристики, характеристики передачи

транзистора в схеме с общей базой и общим эмиттером. Сущность эффекта Эрли. Влияние температуры на статические характеристики.

Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Физические схемы и собственные параметры. Параметры транзистора как линейного четырехполюсника. Зависимость малосигнальных параметров от постоянной составляющей тока на входе и напряжения на выходе. Частотные параметры транзистора.

Работа транзистора с нагрузкой. Нагрузочная характеристика. Активный режим работы. Работа транзистора на импульсах. Переходные процессы в транзисторе.

Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Методы формирования и основные типы транзисторных структур. Конструктивно-технологические особенности мощных транзисторов. Биполярные транзисторы как элементы интегральных микросхем.

Демонстрация схем включения биполярных транзисторов с общей базой, с общим эмиттером и общим коллектором и их расчет Демонстрация схем включения биполярных транзисторов с общей базой, с общим эмиттером и общим коллектором и расчет h -параметров по характеристикам транзисторов с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

Модуль 5.

Тема 8. Тиристоры.

Структура и принцип действия диодного тиристора. Энергетические диаграммы. Открытое и закрытое состояние. Вольт-амперная характеристика. Суммарный коэффициент передачи тока тиристорной структуры. Пробой тиристора. Диодный тиристор с зашунтированным эмиттерным переходом.

Триодный тиристор. Принцип управления. Условие переключения. Симметричный тиристор. Способы управления тиристорами. Конструктивно-технологические особенности и параметры тириستоров.

Демонстрация работы тиристоров с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

Модуль 6.

Тема 9. МДП- транзисторы

Эффект электрического поля в полупроводниках. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Энергетические диаграммы МДП-структуры в режимах обогащения, обеднения и инверсии. Пороговое напряжение. Особенности реальных МДП-структур.

Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора. Транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические выходные характеристики. Перекрытие канала. Напряжение насыщения. Уравнения ВАХ для крутой и пологой частей характеристик. Характеристики передачи. Влияние температуры на статические характеристики. Пробой транзистора.

Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы МДП-транзистора. Частотные свойства. Переходные процессы в МДП-транзисторе при работе в качестве электронного ключа.

Конструктивно-технологические разновидности транзисторов. Эффекты короткого канала в МДП-транзисторах. Зависимость порогового напряжения от длины канала и напряжения на стоке. Особенности статических характеристик короткоканальных транзисторов. Транзисторы с самосовмещенным затвором. МДП-транзисторы как элементы интегральных микросхем. Приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Демонстрация работы полевых транзисторов и МДП-транзисторов с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

Модуль 7.

Тема 10. Полевые транзисторы с управляющим переходом

Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. Структура и принцип действия. Статические выходные характеристики и характеристики передачи. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Разновидности полевых транзисторов.

Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). Сравнительная характеристика арсенида галлия и кремния. Структура ПТШ. Принцип действия при работе в режимах обогащения и обеднения канала. Статические характеристики. Конструктивно-технологические особенности и основные параметры. ПТШ как элементы интегральных микросхем на основе арсенида галлия.

Демонстрация работы полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

Модуль 8.

Тема 11.Оптоэлектронные полупроводниковые приборы.

Полупроводниковые излучатели. Инжекционная электролюминесценция. Явление вынужденного излучения в полупроводниках. Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели, инжекционные лазеры: принцип действия и основные свойства.

Фотоприемники. Явление фотопроводимости и фотовольтаический эффект. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры.Оптопары.

Демонстрация работы оптоэлектронных приборов с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).

Тема 12. Полупроводниковые резисторы

Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.

Тема 13.Сведения по надежности полупроводниковых приборов

Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности.

4.3.1.Содержание лекционных занятий

Модули	Содержание темы
--------	-----------------

Модуль 1. Физические основы полупроводниковой электроники	Лекция 1. Основы зонной теории полупроводников. Уравнение Шрёдингера для кристалла, одноэлектронное приближение. Зоны Бриллюэна. понятие эффективной массы. Локализованные состояния. Зонная структура некоторых полупроводников. Лекция 2. Основы зонной теории полупроводников. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация электронов и дырок. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Вырожденные и частично вырожденные полупроводники. Лекция 3. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках. Вырожденные и частично вырожденные полупроводники. Лекция 4. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Диффузионный и дрейфовый токи. Диффузия основных и неосновных неравновесных носителей заряда. Инжекционные токи в твердых телах. Лекция 5. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Собственное поглощение света, прямые и не прямые переходы. Фоторезистивный эффект, квантовый выход, коэффициент усиления. Зависимость фототока от интенсивности света, кинетика фототока.
Модуль 2. Электрические переходы	Лекция 6-7. Электронно-дырочный (p-n) переход. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в p-n-переходе. Энергетическая диаграмма. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. Прямое и обратное включение p-n-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. ВАХ p-n перехода. Лекция 8. Переходы на основе контакта металл-полупроводник. Выпрямляющие переходы. Барьер Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Свойства и параметры омического перехода. Структура реального невыпрямляющего контакта. ВАХ барьера Шоттки. Лекция 9. Гетеропереходы. Понятие идеального гетероперехода. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах. Вольтамперные и вольтфарадные характеристики гетеропереходов. Лекция 10. Полупроводниковые диоды. Структура и основные элементы полупроводникового диода. Барьерная и диффузионная емкости диода. Вентильное свойство диода. Лавинный, туннельный
Модуль 3.	

Модуль 7. Полевые транзисторы.	интегральных микросхем. Лекция 24-25. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. Структура и принцип действия. Статические выходные характеристики и характеристики передачи. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы. Разновидности полевых транзисторов. Лекция 26. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). Конструктивно-технологические особенности и основные параметры. ПТШ как элементы интегральных микросхем на основе арсенида галлия.
Модуль 8. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы.	Лекция 27. Полупроводниковые излучатели. Инжекционная электролюминесценция. Явление вынужденного излучения в полупроводниках. Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели. Инжекционные лазеры: принцип действия и основные свойства. Лекция 28-29. Фотоприемники. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры. Оптопары. Лекция 30. Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства, конструктивные особенности, области применения. Лекция 31. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. Пути повышения качества и надежности.

4.3.2. Содержание лабораторных занятий

Выполнение лабораторных работ, обработки результатов измерений, редактирования схем, изображений и чертежей с использованием современных программных средств OriginGraph, MathCad, MicrosoftVisio, LabView.

Модули	Содержание темы
	6 - семестр
Модуль 1. Физические основы полупроводниковой электроники	<u>Лабораторная работа 1. – 2 ч</u> Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников. <u>Лабораторная работа 2. – 2 ч</u> Определение ширины запрещенной зоны полупроводника. <u>Лабораторная работа 3. – 2 ч</u> Исследование свойств полупроводниковых материалов методом Холла. <u>Лабораторная работа 4. – 2 ч</u> Исследование электрических свойств полупроводниковых материалов <u>Лабораторная работа 5. – 2 ч</u> Исследование собственного оптического поглощения в полупроводниках

Модуль 2. Электрически е переходы	<u>Лабораторная работа 4. – 2 ч</u> Исследование контакта металла-полупро. <u>Лабораторная работа 5. – 4 ч</u> Исследование работы р-п перехода. <u>Лабораторная работа 6. – 4 ч</u> Исследование работы гетероперехода.
Модуль 3. Полупроводни ковые диоды	<u>Лабораторная работа 7. – 2 ч</u> Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах. <u>Лабораторная работа 8. – 2 ч</u> Определение основных характеристик стабилитрона и исследование параметрического стабилизатора напряжения <u>Лабораторная работа 9. – 2 ч</u> Исследование диода с переменной емкостью (варикапа) <u>Лабораторная работа 10. – 2 ч</u> Исследование ВАХ диода Шоттки при различных температурах <u>Лабораторная работа 11. – 2 ч</u> Исследование ВАХ диода Шоттки при различных температурах <u>Лабораторная работа 12. – 2 ч</u> Исследование ВАХ стабилитрона при различных температурах <u>Лабораторная работа 13. – 2 ч</u> Исследование ВАХ диода при различных температурах <u>Лабораторная работа 14. – 2 ч</u> Итоговое занятие
Модуль 4. Биполярные транзисторы.	<u>7 – семестр</u> <u>Лабораторная работа 1. – 2 ч</u> Сравнительное исследование одиночных усилительных каскадов на биполярных транзисторах <u>Лабораторная работа 2. – 2 ч</u> Исследование двухкаскадного транзисторного усилителя <u>Лабораторная работа 3. – 2 ч</u> Исследование двухтактного усилителя мощности на биполярных транзисторах <u>Лабораторная работа 4. – 2 ч</u> Исследование эмиттерного повторителя <u>Лабораторная работа 5. – 2 ч</u> Снятие статических характеристик транзистора на постоянном токе
Модуль 5. Тиристоры	<u>Лабораторная работа 6. – 2 ч</u> Экспериментальное определение основных характеристик тиристоров <u>Лабораторная работа 7. – 4 ч</u> Исследование тиристорных преобразователей частоты.
Модуль 6 МДП- транзисторы	<u>Лабораторная работа 8. – 4 ч</u> Получение передаточной характеристики МДП транзистора в схеме с общим истоком. <u>Лабораторная работа 9. – 4 ч</u> Получение зависимости сопротивления канала МДП транзистора от

	напряжения затвор - исток
Модуль 7 Полевые транзисторы	<u>Лабораторная работа 11. – 4 ч</u> Исследование усилительных каскадов на полевых транзисторах <u>Лабораторная работа 12. – 4 ч</u> Получение семейства выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком <u>Лабораторная работа 13. – 4 ч</u> Получение передаточной характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком
Модуль 8. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы.	<u>Лабораторная работа 14. – 2 ч</u> Экспериментальное определение основных характеристик и параметров оптопар <u>Лабораторная работа 15. – 2 ч</u> Спектральные характеристики светодиодов <u>Лабораторная работа 16. – 2 ч</u> Экспериментальное снятие вольтамперной характеристики светодиодов <u>Лабораторная работа 17. – 2 ч</u> Определение основных характеристик фотодиода <u>Лабораторная работа 18. – 2 ч</u> Определение интегральной чувствительности фотоэлемента и снятие вольтамперных характеристик <u>Лабораторная работа 19. – 2</u> Вольтамперные характеристики фоторезистора

4.3.3

. Темы практических и семинарских занятий

Модули	Темы практических (семинарских) занятий
	6-семестр
Модуль 1. Физические основы полупроводниковой электроники	Тема 1. Основы зонной теории полупроводников • Основные приближения зонной теории. • Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Искривление энергетических зон в электрическом поле. • Энергетические уровни и зоны • Донорные и акцепторные примеси • Проводники, полупроводники и диэлектрики • <i>Решение задач по теме 1 с применением MathCad.</i>
	Тема 2 Статистика электронов и дырок в полупроводниках • Собственная электропроводность полупроводников • Распределение электронов по энергетическим уровням • Примесная электропроводность полупроводников • <i>Расчет температурной зависимости положения уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках с применением MathCad.</i>

	- Изучение зависимости уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника с применением MathCad. - Решение задач по теме 2 с применением MathCad
	Тема 3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводниках. - Процессы переноса зарядов в полупроводниках - Дрейф носителей заряда - Диффузия носителей заряда - Расчет коэффициента диффузии, длины свободного пробега и времени жизни неосновных носителей заряда. - Решение задач по теме 3 с применением MathCad
	Тема 4. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. - Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. - Механизмы оптических переходов в полупроводниках. - Примесное поглощение вблизи края запрещенной зоны в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. - Исследование спектров люминесценции полупроводников. - Решение задач по теме 4 с применением MathCad
Модуль 2. Электрические переходы.	Тема 5. Электрические переходы - Электронно-дырочный переход - Вентильное свойство p–n-перехода - Вольт-амперная характеристика p–n-перехода - Виды пробоев p–n-перехода - Ёмкость p–n-перехода - Контакт «металл – полупроводник» - Контакт между полупроводниками одного типа проводимости - Гетеропереходы - Свойства омических переходов - Решение задач по теме 5 с применением MathCad - Демонстрация вентильных свойств и вольт-амперная характеристика p-n перехода и их расчет с использованием электронных сервисов (Microsoft Visio, MathCad, LabView).
Модуль 3. Полупроводниковые диоды	Тема 6. Полупроводниковые диоды - Выпрямительные диоды - Особенности вольтамперных характеристик выпрямительных диодов - Импульсные диоды - Туннельные диоды - Обращенный диод - Диоды Шоттки - Варикапы - Стабилитроны - Стабисторы - Применение полупроводниковых диодов - Демонстрация вольт-амперная характеристика диодов и их расчет с использованием электронных сервисов

	(MicrosoftVisio, MathCad, LabView).
	7 семестр
Модуль 4. Биполярные транзисторы.	Тема 7 .Биполярные транзисторы. • Физические процессы в биполярном транзисторе • Схемы включения транзистора • Схема с общей базой • Схема с общим эмиттером • Схема с общим коллектором • Статические характеристики биполярного транзистора • Статические характеристики для схемы с общей базой • Статические характеристики для схемы с общим эмиттером • <i>Демонстрация схем включения биполярных транзисторов с общей базой, с общим эмиттером и общим коллектором и их расчет Демонстрация схем включения биполярных транзисторов с общей базой, с общим эмиттером и общим коллектором и расчет h-параметров по характеристикам транзисторов с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).</i>
Модуль 5. Тиристоры	Тема 8. Тиристоры. • Динисторы • Триодные тиристоры • Способы запираания тириستоров • Запираемые тиристоры • Симметричные тиристоры • Основные параметры тиристоров • Применение тиристоров • Управляемые выпрямители • Регуляторы переменного напряжения • Структура и основные режимы работы • <i>Демонстрация работы тиристоров с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).</i>
Модуль 6. МДП- транзисторы	Тема.9.МДП- транзисторы • Полевой транзистор с управляющим p–n-переходом • Схемы включения полевых транзисторов • Статические характеристики полевых транзисторов • Основные параметры полевых транзисторов • Полевые транзисторы с изолированным затвором • Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом • Транзистор с индуцированным (инверсионным) каналом • Сравнение МДП- и биполярного транзистора • <i>Демонстрация работы полевых транзисторов и МДП-транзисторов с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).</i>

Модуль 7. Полевые транзисторы	Тема 10. Полевые транзисторы с управляющим переходом • Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. • Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). • ПТШ как элементы интегральных микросхем на основе арсенида галлия. • <i>Демонстрация работы полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).</i>
Модуль 8. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы.	Тема 11. Тема 6.Оптоэлектронные полупроводниковые приборы. • Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели. • Оптопары. • Фотоэлектрические приборы на основе внешнего фотоэффекта • Фотоэлементы, фотоэлектронные умножители • Фотоэлектрические приборы на основе внутреннего фотоэффекта • Фоторезисторы • Фотодиоды • Фототранзисторы • Фототиристоры • <i>Демонстрация работы оптоэлектронных приборов с использованием электронных сервисов (MicrosoftVisio, MathCad, LabView).</i>

4.3.4. Содержание разделов самостоятельной работы

№	Содержание темы
	6-семестр
	• <i>Применение MathCad при решении задач.</i> • <i>Основные этапы решения задач на ЭВМ. Основные принципы моделирования. Программа MathCad. Панели инструментов в системе MathCad. Графика. Типы графиков создаваемых в системе MathCad. Вычисления в MathCad. Вычисления в автоматическом и ручном режиме. Оптимизация вычислений.</i> • <i>Использование OriginGraph для хранения, визуализации и обработки данных при выполнении лабораторных работ</i> • <i>Пакет программ OriginGraph. Основы работы. Панель инструментов. Подготовка данных, построение графиков. Обработка и оптимизация графиков.</i>

1.	• Энергетические уровни и зоны • Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Искривление энергетических зон в электрическом поле. • Проводники, полупроводники и диэлектрики • Собственная электропроводность полупроводников • Распределение электронов по энергетическим уровням.
2	• Примесная электропроводность полупроводников • Донорные примеси • Акцепторные примеси • Температурная зависимость положения уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках. • Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника. • Коэффициент диффузии, длина свободного пробега и время жизни неосновных носителей заряда.
3.	• Процессы переноса зарядов в полупроводниках • Дрейф носителей заряда • Диффузия носителей заряда
4.	• Электрические переходы • Электронно-дырочный переход • Вентильное свойство $p-n$-перехода • Вольт-амперная характеристика $p-n$-перехода • Виды пробоев $p-n$-перехода • Ёмкость $p-n$-перехода • Контакт «металл – полупроводник» • Контакт между полупроводниками одного типа проводимости • Гетеропереходы • Свойства омических переходов
5.	• Выпрямительные диоды • Особенности вольтамперных характеристик выпрямительных диодов • Импульсные диоды • Туннельные диоды • Обращенный диод • Диоды Шоттки • Варикапы • Стабилитроны • Стабисторы
	7-семестр
1.	• Динисторы • Триодные тиристоры • Способы запираания тиристоров • Запираемые тиристоры • Симметричные тиристоры • Основные параметры тиристоров • Применение тиристоров • Управляемые выпрямители • Регуляторы переменного напряжения
2.	• Структура и основные режимы работы • Физические процессы в биполярном транзисторе • Схемы включения транзистора

	• Схема с общей базой • Схема с общим эмиттером • Схема с общим коллектором • Статические характеристики биполярного транзистора • Статические характеристики для схемы с общей базой • Статические характеристики для схемы с общим эмиттером
3.	• Полевой транзистор с управляющим $p-n$-переходом • Схемы включения полевых транзисторов • Статические характеристики полевых транзисторов • Основные параметры полевых транзисторов • Полевые транзисторы с изолированным затвором • Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом • Транзистор с индуцированным (инверсионным) каналом
4.	• Полевые транзисторы с управляющим $p-n$-переходом. • Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шотки (ПТШ). • ПТШ как элементы интегральных микросхем на основе арсенида галлия.
5.	• Фотоэлектрические приборы на основе внешнего фотоэффекта • Фотоэлементы • Фотоэлектронные умножители • Фотоэлектрические приборы на основе внешнего фотоэффекта • Фотоэлементы • Фотоэлектронные умножители • Фотоэлектрические приборы на основе внутреннего фотоэффекта • Фоторезисторы • Фотодиоды • Фототранзисторы • Фототиристоры • Светодиоды • Полупроводниковые инжекционные лазеры
6.	• Термисторы • Позисторы. • Варисторы.
7.	• Преобразователи Холла • Магнитодиоды • Магнитотранзисторы. • Тензоэлектрические приборы.
8.	• Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. • Показатели надежности. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов. Испытания на надежность. • Пути повышения качества и надежности.

5. Образовательные технологии

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

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция(информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, семинар, 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:

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

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физические основы электроники» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность студентов.

По лекционному материалу подготовлены конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **PowerPoint**, а также с использованием интерактивных досок.

Методика проведения практических занятий способствует выполнению расчетов, решению задач по электронике, умению пользования нормативной и справочной литературой. Закрепление знаний путем решения разного рода учебно-практических задач осуществляется с применением системы компьютерной математики MathCad и OriginGraph, предоставляющей высокую степень визуализации всего процесса вычислений, его наглядность, а также минимальные сроки выполнения расчетов. Применяемые электронные средства обучения способствуют увеличению объема выполнения рабочего задания по сравнению с традиционными практическими занятиями.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов имеет целью подготовку к семинарским и практическим занятиям по отдельным разделам дисциплины, а также к выполнению лабораторных работ по предмету. Разделы дисциплины для самостоятельной работы приведены в п. 4.3.3.

В течение семестра студенты самостоятельно готовятся по отдельным разделам дисциплины, представляют рефераты и презентации, обсуждают выбранные темы на практических занятиях.

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

7.1. Типы контрольных заданий

Примерные темы для докладов студентов на семинарских занятиях

1. Процессы переноса зарядов в полупроводниках
2. Электрические переходы
3. Электронно-дырочный переход
4. Гетеропереходы
5. Вольт-амперная характеристика $p-n$ -перехода
6. Ёмкость $p-n$ -перехода
7. Выпрямительные диоды
8. Диоды Шоттки
9. Стабилитроны
10. Биполярные транзисторы
11. Режимы работы транзистора
12. Схемы включения транзистора
13. Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом
14. Полевые транзисторы с изолированным затвором
15. Транзистор с индуцированным (инверсионным) каналом
16. Триодные тиристоры
17. Фотодиоды
18. Инжекционные лазеры

Рекомендации к последовательности выполнения реферата.

Изучение проблемы по материалам, доступным в Интернете:

Согласовать название сообщения.

Написать тезисы реферата по теме.

Выразить, чем интересна выбранная тема в наши дни.

Подготовить презентацию по выбранной теме.

Сделать сообщение на мини-конференции.

Пример тестовых заданий для промежуточного контроля

1. В соответствии с зонной теорией твердые тела относятся к полупроводникам, если:

- 1) последняя зона, в которой есть электроны, заполнена частично
- 2) валентная зона заполнена электронами полностью, но она перекрывается со следующей разрешенной зоной, не занятой электронами
- 3) валентная зона заполнена электронами полностью и отделена от следующей за ней свободной зоны широкой ($> 5-6$ эВ) запрещенной зоной
- 4) валентная зона заполнена электронами полностью и отделена от следующей за ней свободной зоны широкой ($> 2-3$ эВ) запрещенной зоной
- 5) валентная зона заполнена электронами полностью и отделена от следующей за ней свободной зоны узкой ($< 2-3$ эВ) запрещенной зоной

2. Эффективные массы носителей заряда можно определить из экспериментов по:

- 1) циклотронному резонансу
- 2) температурной зависимости электропроводности

- 3) температурной зависимости подвижности
 - 4) эффекту Холла
 - 5) термомагнитным явлениям.
3. **Область значений волнового вектора k , в пределах которой энергия $E(k)$ электрона испытывает полный цикл своего изменения, называют:**
- 1) зоной Бриллюэна 2) запрещенной зоной 3) валентной зоной
 - 4) зоной проводимости 5) энергетической щелью.
4. **Согласно приближению сильно связанных электронов, причиной расщепления атомных уровней в энергетические зоны при сближении атомов является:**
- 1) дифракция валентных электронов на границах зон Бриллюэна
 - 2) перекрытие атомных волновых функций
 - 3) эффективное электрон-фонон-электронное взаимодействие, приводящее к образованию связанных электронных пар
 - 4) рассеяние электронов на фононах и дефектах кристаллической решетки
 - 5) принцип запрета Паули.
5. **Знание компонент m_{ij}^* тензора эффективной массы позволяет описать движение электрона в кристалле как движение свободной частицы с массой m_{ij}^* :**
- 1) только во внешних электрических полях
 - 2) только во внешних магнитных полях
 - 3) в одном только электрическом поле решетки
 - 4) во внешних электрических и магнитных полях
 - 5) во внешних полях при одновременном действии периодического поля решетки
6. **Какое из следующих утверждений верно:**
- А) вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем больше концентрация свободных носителей заряда.
- В) вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем ниже температура (при данной концентрации) и чем меньше эффективная масса носителей заряда.
- 1) верно только А 2) верно только В 3) верны оба утверждения 4) оба утверждения неверны.
7. **Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике:**
- 1) зависит от положения уровня Ферми и растет с ростом температуры по экспоненциальному закону
 - 2) не зависит от положения уровня Ферми и растет с ростом температуры по экспоненциальному закону
 - 3) зависит от положения уровня Ферми и уменьшается с ростом температуры по экспоненциальному закону
 - 4) не зависит от положения уровня Ферми и уменьшается с ростом температуры по экспоненциальному закону
 - 5) не зависит от положения уровня Ферми и растет с ростом температуры по линейному закону
8. **Удельное сопротивление монокристалла кремния p -типа при комнатной температуре (300 К) составляет $9 \cdot 10^{-4}$ Ом.м. Определите коэффициент Холла, если подвижность дырок $0,04 \text{ м}^2/(\text{В.с})$.**
- 1) $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Кл}$ 2) $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{Кл}$ 3) $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$
 - 4) $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{Кл}$ 5) $7,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Кл}$

9. **Явление, заключающееся в возникновении в полупроводнике при приложении сильного постоянного электрического поля колебаний тока с частотой порядка 10^{10} Гц, называют:**
- 1) эффектом Холла 2) фотоэлектрическим эффектом 3) эффектом Ганна
 - 4) эффектом Пельте 5) циклотронным резонансом
10. **Дырочный полупроводник невырожден, если:**
- 1) уровень Ферми лежит в валентной зоне ниже потолка валентной зоны на 5 кТ
 - 2) уровень Ферми расположен в зоне проводимости выше дна зоны проводимости по крайней мере на 5 кТ
 - 3) уровень Ферми лежит в запрещенной зоне ниже дна зоны проводимости не менее чем на кТ
 - 4) уровень Ферми лежит в запрещенной зоне выше потолка валентной зоны не менее чем на кТ
 - 5) уровень Ферми лежит в середине запрещенной зоны.
11. **Основным методом измерения концентрации носителей и определении их знака в случае примесной проводимости является:**
- 1) эффект Холла 2) измерение термоэдс 3) измерения проводимости и подвижности носителей
 - 4) измерения температурной зависимости примесной проводимости 5) измерения красной границы фотопроводимости
12. **Какое из следующих утверждений верно:**
- А. вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем больше концентрация свободных носителей заряда.
- В. вырождение примесного полупроводника наступает тем раньше, чем ниже температура (при данной концентрации) и чем меньше эффективная масса носителей заряда.
- 1) Верны оба утверждения 2) Оба утверждения неверны
 - 3) Верно только А 4) Верно только В
13. **Подвижность дырок в монокристалле кремния при комнатной температуре (300 К) равна $0,04 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Коэффициент диффузии дырок при этой температуре:**
- 1) $41,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$ 2) $4,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$ 3) $10,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$ 4) $10,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
 - 5) $41,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
14. **Рекомбинацией называется любой процесс, приводящий к переходу электрона:**
- 1) в зону проводимости
 - 2) из зоны проводимости в состояние, локализованное вблизи примеси или дефекта
 - 3) с примесного уровня в незанятое электронами состояние в валентной зоне
 - 4) на более высокие уровни энергии (в зону проводимости или запрещенную зону)
 - 5) из зоны проводимости в валентную зону с заполнением какого-либо дырочного состояния, в результате чего происходит исчезновение электрона и дырки
15. **Эффектом поля называют:**
- 1) явление разогрева электронно-дырочного газа в сильных электрических полях
 - 2) явление ударной ионизации в сильном электрическом поле, в результате чего возникают электронно-дырочные пары.

- 3) явление наклона энергетических зон у полупроводника, находящегося во внешнем электрическом поле
- 4) явление увеличения концентрации свободных носителей заряда вследствие уменьшения энергии ионизации атомов донорной примеси в сильном электрическом поле
- 5) явление изменения проводимости полупроводника под действием электрического поля, нормального к его поверхности.

16. Вычислить диффузионную длину электронов в невырожденном Ge при 300 K, если время жизни электронов составляет $\tau_n=10^{-4}$ с, $\mu_n=3800$ см²/Вс. ($k_0 = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К).

- 1) 0,2 см 2) 0,01 см 3) 0,02 см 4) 0,2 см 5) 0,1 см

17. При изготовлении выпрямителя было использовано последовательное соединение двух разнотипных диодов из Si. Диод 1 был более высоковольтным, чем диод 2. Если прямые токи близки к предельно допустимым, то будет сильнее нагреваться:

- 1) диод 1
- 2) диод 2
- 3) нагреваться будут одинаково

18. Если p- область легирована значительно сильнее, чем n- область, то в какой области будет шире обедненный слой?

- 1) p- области
- 2) n-области
- 3) ширина слоя будет в обеих областях одинаковая

19. Если осветить p-n- переход диода, то на его контактах возникнет разность потенциалов. Полярность p-n- перехода:

- 1) + на p
- 2) – на p
- 3) + на n
- 4) – на n

20. В диоде с p-n- переходом увеличили степень легирования одной из областей. Величина емкости перехода (при нулевом смещении):

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

21. Режимы работы транзистора и их отличия:

- 1) активный и пассивный. Отличаются величиной тока базы
- 2) активный, насыщения, отсечки, инверсный. Отличаются величиной тока коллектора.
- 3) инверсный, насыщения, отсечки, активный. Отличаются полярностью напряжений на p-n-переходах.

22. Для увеличения быстродействия МДП-транзистора необходимо:

- 1) уменьшать длину канала
- 2) применить подзатворный диэлектрик с меньшей диэлектрической проницаемостью
- 3) увеличить толщину подзатворного диэлектрика.

Список контрольных вопросов по дисциплине.

1. Понятие о подвижности носителей.
2. Электропроводность полупроводника.
3. Явления инжекции, эксклюзии, экстракции и аккумуляции носителей заряда и в чем их причина.
4. Процессы, протекающие при локальном введении в полупроводник неравновесных неосновных носителей.
5. Процессы, протекающие при локальном введении в полупроводник неравновесных основных носителей.
6. Механизмы переноса тока в полупроводниках. Параметры дрейфового и диффузионного тока.
7. Электронно-дырочный (р-п) переход. классификация р-п-переходов. Энергетическая диаграмма.
8. Распределение пространственного заряда, потенциала, поля и концентрации носителей заряда в р-п-переходе.
9. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. Прямое и обратное включение р-п-перехода. ВАХ
10. Выпрямляющие переходы на основе контакта металл-полупроводник. Энергетическая диаграмма при различном соотношении работ выхода и типа электропроводности полупроводника. ВАХ барьера Шоттки.
11. Изотипные и анизотипные гетеропереходы, их энергетические диаграммы. Эффекты сверхинжекции в гетеропереходах.
12. Структура и основные элементы полупроводникового диода.
13. ВАХ диода с учетом падения напряжения на сопротивлении базы, генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п-переходе.
14. Лавинный, туннельный и тепловой пробой диодов.
15. Классификация полупроводниковых диодов. Их конструктивно-технологические особенности, электрические свойства.
16. Диоды различного назначения - туннельные диоды, стабилитроны и стабисторы, диоды Шоттки, варикапы: принцип действия, свойства, применение.
17. Структура, принцип действия, режимы, схемы включения биполярного транзистора. Энергетическая диаграмма при нормальном включении.
18. Классификация транзисторов по мощности и по частоте. Конструктивно-технологические особенности мощных транзисторов.
19. Коэффициенты передачи токов эмиттера и базы. Статические характеристики.
20. Входные и выходные характеристики, характеристики передачи транзистора в схеме с общей базой и общим эмиттером. Эффект Эрли. Влияние температуры на статические характеристики.
21. Структура и принцип действия диодного и триодного тиристора. Вольт-амперная характеристика. Условие переключения. Способы управления тиристорами.
22. Структура, принцип действия и схемы включения МДП-транзистора.
23. Транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. Статические выходные характеристики. Уравнения ВАХ для крутой и пологой частей характеристик. Характеристики передачи.
24. Конструктивно-технологические разновидности транзисторов. Эффекты короткого канала в МДП-транзисторах. Зависимость порогового напряжения от длины канала и напряжения на стоке.
25. Структура и принцип действия полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом. Статические выходные характеристики и характеристики передачи.
26. Полевые транзисторы с управляющим переходом на основе диода Шоттки (ПТШ). Принцип действия при работе в режимах обогащения и обеднения канала. Статические характеристики.

27. Светоизлучающие диоды, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели, инжекционные лазеры: принцип действия и основные свойства.
28. Фоторезисторы, фотодиоды, полупроводниковые фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры: принцип действия, конструкция, основные характеристики и параметры.
29. Полупроводниковые резисторы (термисторы, позисторы, варисторы): принцип действия и основные свойства.
30. Основные положения и понятия теории надежности. Интенсивность отказов, вероятность безопасной работы. Показатели надежности.

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

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 50 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 15 баллов,
- выполнение лабораторных заданий – 25 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 10 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 5 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 20 баллов.

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

а) основная литература:

1. Лебедев А.А. Физика полупроводниковых приборов. ФИЗМАТЛИТ, 2008 г. - 488 с. –(31 экз.).
2. Глазачев А.В. Петрович В.П. Физические основы электроники. Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ. 2000. – 152 с. . <http://knigi.dissers.ru>
3. Легостаев, Н.С. Твердотельная электроника : учебное пособие / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск : Эль Контент, 2011. - 244 с. - ISBN 978-5-4332-0021-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208951>.
4. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие - 3-е изд., доп. Москва: Техносфера, 2008. – 512 с. ...

б) дополнительная литература:

1. Аристов А.В. Физические основы электроники. Сборник задач и примеры их решения [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.В. Аристов, В.П. Петрович. — Электрон.текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 100 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55211.html>
2. Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. Сборник задач по полупроводниковой электронике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. Сычик В.А. Твердотельная электроника. — Минск : БНТУ, 2021. — 346 с.

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

Интернет ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks (www.iprbookshop.ru) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотекаонлайн» www.biblioclub.ru. Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. 537 наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com/>. Договор № СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока.
7. Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>
8. Международное издательство SpringerNature. Коллекция журналов, книг и баз данных издательства SpringerNature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства SpringerNature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>
9. Журналы Royal Society of Chemistry. Баз данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>
10. Электронный каталог НБДГУ [Электронный ресурс]: баз данных содержит сведения о всех видах лит. поступающих в фонд НБДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>.
11. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru>.
12. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

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.

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

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

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

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

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.04.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить магистров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

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