

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



Директор ИЭИС проф.

И.Эминов

2017 г.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Учебный модуль по направлению подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Профиль – Микроэлектроника и твердотельная электроника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела

О.Б. Широколобова

« 30 » 05 2017 г.

Разработал

доцент кафедры ФТТМ

И.С. Телина

« 22 » 05 2017 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 10 от 22.05 2017 г.

Заведующий кафедрой

Б.И. Селезнев

1 Цели и задачи учебного модуля

Целью учебного модуля (УМ) является формирование компетентности студентов в области физических основ электроники, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Основными задачами УМ являются:

- формирование системы знаний о физических явлениях и эффектах, определяющих принципы действия основных приборов вакуумной, плазменной, твердотельной, квантовой и оптической электроники;
- формирование способностей студентов оценивать влияние физических процессов на электрические параметры и характеристики различных электронных приборов;
- формирование умений определять параметры и характеристики электронных приборов экспериментальными и теоретическими методами.

Ведущие идеи учебного модуля:

- электроника включает в себя несколько областей, таких как твердотельная электроника, плазменная и вакуумная электроника, квантовая и оптическая электроника;
- физические процессы, изучаемые в этих областях, имеют фундаментальное значение для разработки многих классов электронных приборов.

2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Учебный модуль относится к базовой части блока 1, читается в 4 семестре.

Для изучения модуля используются знания, полученные при изучении таких модулей, как «Математика», «Физика», «Химия», а также модулей «Теоретические основы электротехники» и «Материалы электронной техники».

Для успешного усвоения дисциплины студент должен

знать:

- основные понятия и методы математического анализа, линейной алгебры, дискретной математики, теории дифференциальных уравнений и элементов теории уравнений математической физики, теории вероятностей и математической статистики, математических методов решения профессиональных задач;
- законы Ньютона и законы сохранения, принципы специальной теории относительности Эйнштейна, элементы общей теории относительности, элементы механики жидкостей, законы термодинамики, статистические распределения, законы электростатики, природу магнитного поля и поведение веществ в магнитном поле, законы электромагнитной индукции, волновые процессы, геометрическую и волновую оптику, основы квантовой механики, строение многоэлектронных атомов, квантовую статистику электронов металлах и полупроводниках, строение ядра, классификацию элементарных частиц;
- электронное строение атомов и молекул, основы теории химической связи в соединениях разных типов, строение вещества в конденсированном состоянии, основные закономерности протекания химических процессов и характеристики

равновесного состояния, химические свойства элементов различных групп Периодической системы и их важнейших соединений;

уметь:

- проводить анализ функций, решать основные задачи теории вероятности и математической статистики, решать уравнения и системы дифференциальных уравнений применительно к реальным процессам, применять математические методы при решении типовых профессиональных задач;
- решать типовые задачи, связанные с основными разделами физики, использовать физические законы при анализе и решении проблем профессиональной деятельности;
- использовать основные химические законы, термодинамические справочные данные и количественные соотношения неорганической химии для решения профессиональных задач;

владеть:

- методами построения математической модели типовых профессиональных задач и содержательной интерпретации полученных результатов;
- методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях;
- теоретическими методами описания свойств простых и сложных веществ на основе электронного строения их атомов и положения в Периодической системе химических элементов.

Освоение данного УМ необходимо при изучении следующих модулей:

- «Физика конденсированного состояния»;
- «Основы проектирования и технологии электронной компонентной базы»;
- «Микроэлектроника и твердотельная электроника»;
- «Квантовая и оптическая электроника»;
- «Промышленная электроника».

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенций:

- ОПК-1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;
- ОПК-2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

В результате освоения УМ студент должен знать, уметь и владеть:

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-1	базовый	основные понятия, принципы, законы физики вакуума, плазмы и твердого тела	использовать основные законы физики вакуума, плазмы и твердого тела при описании физических процессов, протекающих в электронных приборах	методами экспериментального исследования параметров и характеристик электронных приборов
ОПК-2	базовый	принципы использования физических процессов в электронных приборах	определять параметры и характеристики электронных приборов	навыками анализа явлений и процессов, протекающих в электронных приборах

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

В структуре УМ выделены следующие учебные элементы модуля (УЭМ) в качестве самостоятельных разделов:

- **УЭМ1** Физические основы твердотельной электроники;
- **УЭМ2** Физические основы оптической и квантовой, вакуумной и плазменной электроники.

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		4 сем.	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	6	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	216	216	
1) УЭМ1 Физические основы твердотельной электроники			
- лекции	10	10	ОПК-1, ОПК-2
- практические занятия	9	9	
- лабораторные работы	26	26	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	9	
- внеаудиторная СРС	45	45	
2) УЭМ2 Физические основы оптической и квантовой, вакуумной и плазменной электроники			
- лекции	26	26	ОПК-1, ОПК-2
- практические занятия	9	9	
- лабораторные работы	10	10	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	9	
- внеаудиторная СРС	45	45	
Аттестация:			
- экзамен	36	36	

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

УЭМ1 Физические основы твердотельной электроники

1.1 Кристаллическое и аморфное состояние вещества

Понятие кристаллической решетки. Симметрия кристаллов. Решетки Браве. Индексы Миллера. Аморфное состояние вещества. Аморфные полупроводники, диэлектрики и кристаллы. Дефекты кристаллической решетки.

Межатомные связи в твердых телах. Молекулярная связь и молекулярные решетки. Ионная связь и ионные решетки. Ковалентная связь и ковалентные решетки. Свойства ковалентных кристаллов. Металлическая связь и металлические решетки. Свойства металлов.

1.2 Общие положения зонной теории и статистики твердых тел

Физические основы квантовой механики. Волновой дуализм де Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга. Принцип Паули. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Волновые функции свободных частиц. Квантование энергии. Туннельный эффект.

Электронные состояния в твердых телах. Обобществление электронов при перекрытии электронных оболочек. Образование разрешенных и запрещенных зон, электроны и дырки, волновой вектор. Внутризонные и межзонные переходы электронов. Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории. Уровень Ферми в металлах, полупроводниках и диэлектриках. Статистика носителей заряда в твердом теле. Функция распределения Ферми применительно к металлам и полупроводникам. Сравнение электрических свойств металлов, диэлектриков и полупроводников с помощью зонных диаграмм.

Зонная структура наиболее важных полупроводников Si, Ge, GaAs. Статистика свободных носителей при тепловом равновесии: функция распределения, уровень Ферми. Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. Доноры и акцепторы. Энергия активации примеси. Основные и неосновные носители заряда. Компенсированные и вырожденные полупроводники. Уровень Ферми в примесных полупроводниках, его зависимость от концентрации примеси.

1.3 Кинетические явления в полупроводниках и металлах

Проводимость, подвижность носителей заряда. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры в области примесной и собственной электропроводности. Электропроводность собственных и примесных полупроводников и металлов. Температурная зависимость электропроводности. Дрейфовый ток. Механизмы рассеяния свободных носителей заряда. Температурная зависимость проводимости в полупроводнике и металле. Диффузионный ток в полупроводниках. Полный ток в полупроводнике. Соотношение Эйнштейна. Равновесные и неравновесные носители заряда. Время жизни. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина носителей заряда.

1.4 Контактные и поверхностные явления

Электрические переходы, типы и классификация. Образование p-n перехода. Переход в равновесном состоянии: токи через переход, распределение концентрации носителей заряда, объемных зарядов доноров и акцепторов, контактной разности потенциалов и напряженности электрического поля в переходе. Прямое и обратное смещение p-n перехода: изменение потенциального барьера и ширины p-n перехода, идеальная ВАХ p-n перехода.

Пробой p-n перехода: виды пробоя, зависимость напряжения пробоя от температуры, стабилитроны. Барьерная и диффузионная емкости p-n перехода. Вольт-фарадная характеристика p-n перехода, варикапы. Частотные свойства переходов. Импульсные свойства переходов: процессы накопления и рассасывания неосновных носителей заряда. Зависимость параметров p-n перехода от температуры. ВАХ реального выпрямительного диода. Параметры эквивалентной схемы выпрямительного диода. Основные параметры, характеристики и применение полупроводниковых диодов.

Переход "металл – полупроводник". Возникновение потенциального барьера на контакте. Образование электрического поля в приконтактной области полупроводника. Запирающие и антизапирающие слои. Выпрямление на переходе "металл – полупроводник". ВАХ перехода.

Поверхностные энергетические уровни. Поверхностная рекомбинация. Эффект поля. обедненные, инверсные и обогащенные поверхностные слои. Перенос носителей заряда в тонких пленках.

1.5 Физические процессы в транзисторных структурах

Классификация и условные обозначения биполярных транзисторов. Распределение токов в электродах транзистора. Энергетическая диаграмма транзисторной структуры при термодинамическом равновесии и в активном режиме. Эффект модуляции ширины базы. Статические характеристики транзисторов: входные, выходные, передачи тока, обратной связи. Модель Эберса–Молла. Типы биполярных транзисторов и их применение.

Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Явления обеднения, обогащения и инверсии полупроводников. Типы полевых транзисторов и особенности их применения. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. Принцип работы, основные параметры и характеристики, эквивалентная схема. Полевые транзисторы с изолированным затвором.

Принцип работы МДП - транзисторов с индуцированным и встроенным каналами. Основные параметры и характеристики. МДП - транзисторы с плавающим затвором.

УЭМ2 Физические основы оптической и квантовой, вакуумной и плазменной электроники

2.1 Физические основы и элементная база оптической и квантовой электроники

Преобразование световых сигналов в электрические. Фотоэффект в p-n переходе. Фотодиоды. Преобразование электрической энергии в световую. Излучательные переходы в полупроводниках. Светодиоды. Полупроводниковые лазеры. Излучательные и безызлучательные переходы в квантовых системах. Ширина и форма спектральных линий. Коэффициент усиления активных сред. Свойства лазерного излучения. Распространение и преобразование лазерных пучков. Квантовые усилители и генераторы (мазеры, лазеры). Газовые лазеры. Твердотельные лазеры на примесных стеклах и кристаллах, волоконные лазеры.

2.2 Физические основы и элементная база вакуумной и плазменной электроники

Свойства вакуума. Движение электронов в вакууме. Электронная эмиссия. Управление потоком электронов. Приборы и устройства вакуумной электроники. Электронные лампы. Электровакuumные лампы. СВЧ-приборы. Электронно-лучевые приборы. Фотоэлектронные приборы. Электрический разряд в газах. Диффузия, проводимость и другие кинетические явления в плазме. Электрические, магнитные и оптические свойства плазмы. Приборы и устройства плазменной электроники. Ионные приборы обработки и отображения информации.

4.3 Лабораторный практикум

Номер раздела УМ	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ак. час
1.4	Выпрямительный диод	8
1.4	Варикап	6
1.4	Стабилитрон	6
1.5	Биполярный транзистор	8
1.5	Полевой транзистор	8

4.4 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ даются в Приложении А.

5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы

(БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения модуля используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра, рубежный (после освоения каждого УЭМ) и семестровый (экзамен) – по окончании изучения УМ.

Рубежная аттестация на 9 неделе проводится по результатам рубежного контроля по УЭМ1. Пороговому уровню соответствует 62 балла, максимальное количество баллов – 125.

Рубежный контроль по УЭМ2 проходит на 18 неделе. Пороговому уровню соответствует 63 балла, максимальное количество баллов – 125.

Максимальное количество баллов, получаемое на экзамене, – 50. Максимальное количество баллов по модулю – 300.

Оценка качества освоения учебного модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по основным образовательным программам высшего профессионального образования» и Положением «О фонде оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации студентов и итоговой аттестации выпускников». Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (Приложение Б).

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (Приложение Г).

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для осуществления образовательного процесса по модулю используется лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами, а также лаборатория, оборудованная следующими макетами:

- макет исследования полупроводниковых диодов;
- макет исследования варикапов;
- макет исследования стабилитронов;
- макет для исследования биполярных транзисторов;
- макет для исследования полевых транзисторов.

Приложения (обязательные):

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорта компетенций

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

Приложение А
(обязательное)

**Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля
«Физические основы электроники»**

Учебный модуль «Физические основы электроники» разделен на два учебных элемента модуля (УЭМ): «Физические основы твердотельной электроники» и «Физические основы оптической и квантовой, вакуумной и плазменной электроники». Каждый из УЭМ состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия, а также лабораторные работы. Первый учебный элемент посвящен твердотельной электронике и рассматривает физические явления и процессы, происходящие в твердых телах, принцип действия, параметры и характеристики приборов твердотельной электроники, главным образом полупроводниковым приборам. Второй УЭМ включает занятия, направленные на знакомство студентов с другими областями электроники: оптической, квантовой, вакуумной и плазменной.

В таблице А.1 отражены разделы модуля, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студента и ссылки на необходимую литературу.

А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний о физических явлениях и эффектах, определяющих принципы действия основных приборов вакуумной, плазменной, твердотельной, квантовой и оптической электроники. Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице А.1.

Как правило, в начале лекции проводится опрос (не более 20 мин.) для экспресс-оценки уровня усвоения теоретического материала студентами. Опрос состоит из закрытых вопросов, например:

1 Электронно-дырочным переходом называется переход: а) между двумя полупроводниками одинаковой химической природы и одинакового типа электропроводности, но с различными уровнями легирования; б) между двумя полупроводниками одинаковой химической природы, но с различными типами проводимости контактирующих областей; в) между металлом и полупроводником

2 Контактная разность потенциалов обусловлена: а) разностью уровней Ферми; б) различием работ выхода; в) скоростью генерации и рекомбинации

3 Высота потенциального барьера р-п перехода с ростом температуры будет: а) расти; б) уменьшаться; в) не будет изменяться

4 В каком случае п-р переход будет иметь наименьшую толщину обедненной области? а) оба полупроводника (п и р-типа) сильнолегированные; б) оба полупроводника слаболегированные; в) один сильнолегированный, а другой слаболегированный; г) оба полупроводника собственные

5 Как подать обратное смещение на р-п переход? а) на обе области подать «-»; б) на обе области подать «+»; в) «+» на р-область, «-» на п-область; г) «-» на р-область, «+» на п-область

Таблица А.1 - Организация изучения учебного модуля «Физические основы электроники»

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
УЭМ1 Физические основы твердотельной электроники			
1.1 Кристаллическое и аморфное состояние вещества	– вводная лекция – информационная лекция – решение задач с обсуждением результатов	– решить задачи (ауд. СРС)	1 Спиридонов О.П. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2008. – 190 с. : ил. 2 Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учеб. пособие / Г.И.Епифанов. – 3-е изд., испр. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. – 287 с. : ил. 3 Антипов Б.Л. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы: Учеб. для студентов вузов. – 3-е изд., стер. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2003. – 206с.
1.2 Общие положения зонной теории и статистики твердых тел	– информационная лекция – решение задач с обсуждением результатов	– решить задачи (ауд. СРС)	1 Спиридонов О.П. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2008. – 190 с. : ил. 2 Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учеб. пособие / Г.И.Епифанов. – 3-е изд., испр. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. – 287 с. : ил.
1.3 Кинетические явления в полупроводниках и металлах	– информационная лекция – решение задач с обсуждением результатов	– решить задачи (ауд. СРС) – подготовиться к опросу	1 Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для вузов / Науч. ред. Л.А. Алешина. - М. : Техносфера, 2007. - 518с. 2 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с. : ил.
1.4 Контактные и поверхностные явления	– информационная лекция – решение задач с обсуждением результатов – проведение лабораторных работ	– решить задачи (ауд. СРС) – выполнить и защитить лабораторные работы – подготовиться к опросу	1 Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для вузов / Науч. ред. Л.А. Алешина. - М. : Техносфера, 2007. - 518с. 2 Ефимов И.Е. Основы микроэлектроники: учебник / И.Е.Ефимов, И.Я.Козырь. - 3-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. – 383 с.: ил. 3 Коваленко А.А. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов. - М.: Академия, 2006. – 238 с. 4 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с. : ил.
1.5 Физические	– информационная	– решить задачи (ауд.	1 Ефимов И.Е. Основы микроэлектроники: учебник / И.Е.Ефимов,

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
процессы в транзисторных структурах	лекция – решение задач с обсуждением результатов – проведение лабораторных работ	СРС) – подготовиться к опросу – выполнить и защитить лабораторные работы	И.Я.Козырь. - 3-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. – 383 с.: ил. 2 Коваленко А.А. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов. - М.: Академия, 2006. 3 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с. : ил.
УЭМ2 Физические основы оптической и квантовой, вакуумной и плазменной электроники			
2.1 Физические основы и элементная база оптической и квантовой электроники	– информационная лекция – обсуждение докладов	– подготовить и защитить доклад – подготовиться к опросу	1 Кузовкин В.А. Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства: Для студентов вузов, обуч. по напр. и спец.техники и технологии. - М.: Логос, 2005. – 327 с. : ил. 2 Базовые лекции по электронике (в 2-х томах). Т. 1 : Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника / сб. под общ. ред. В. М. Пролейко. - М. : Техносфера, 2009. - 479 с. 3 Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника : учеб. для студентов вузов / Федер.целевая прогр.книгоизд.России. - М. : Высшая школа, 2001. – 572 с. 4 Малышев В.А. Основы квантовой электроники и лазерной техники : учеб. пособие для вузов. - М. : Высшая школа, 2005. – 542 с.
2.2 Физические основы и элементная база вакуумной и плазменной электроники	– информационная лекция – обсуждение докладов	– подготовить и защитить доклад – подготовиться к опросу	1 Кузовкин В.А. Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства: Для студентов вузов, обуч. по напр. и спец.техники и технологии. - М.: Логос, 2005. – 327 с. : ил. 2 Сушков А.Д. Вакуумная электроника: Физико-технические основы : учеб. пособие для вузов. - СПб. : Питер, 2004. - 462с. 3 Базовые лекции по электронике (в 2-х томах). Т. 1 : Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника / сб. под общ. ред. В. М. Пролейко. - М. : Техносфера, 2009. - 479 с.

А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и выработка у студентов умения решать задачи по практическим аспектам учебного модуля.

Практические занятия в рамках УЭМ1 строятся следующим образом:

- 20% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовой задачи у доски;
- 70% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;
- 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

Большинство задач содержится в учебном пособии: Терехов, В.А. Задачник по электронным приборам. – СПб.: Лань, 2003. – 278с. В данном учебном пособии приведены решения некоторых задач.

На 9 неделе проводится контрольная работа. Состоит из пяти задач в соответствии с изученными темами УЭМ1. Пример контрольной работы представлен ниже. Полный комплект заданий на контрольную работу по вариантам приведен в приложении к фонду оценочных средств.

На практических занятиях в рамках УЭМ2 проходит обсуждение докладов студентов. Темы докладов по разделу 2.1.

- 1 Элементная база оптоэлектроники.
- 2 Светоизлучающие полупроводниковые приборы.
- 3 Полупроводниковые приемники излучения.
- 4 Световоды.
- 5 Криоэлектроника.
- 6 Акустоэлектроника.
- 7 Магнитоэлектроника.
- 8 Диэлектрическая электроника.
- 9 Приборы на эффекте Ганна.
- 10 Приборы с зарядовой связью.
- 11 Аморфные полупроводники и приборы на их основе.
- 12 Органические полупроводники и возможности их применения в электронной технике.
- 13 Фотоумножители на микроканальных пластинах.
- 14 Электронно-оптические преобразователи.
- 15 Применение волоконно-оптических и микроканальных пластин для усиления яркости изображения.
- 16 Физические основы голографии.
- 17 Органы зрения человека, их особенности, требования к системам отображения информации с этих позиций.
- 18 Особенности восприятия цвета излучения глазом человека.
- 19 Типы и свойства жидких кристаллов.
- 20 Принцип воспроизведения цветного изображения на жидкокристаллических экранах.
- 21 Достоинства и недостатки жидкокристаллических экранов.
- 22 Параметры современных жидкокристаллических экранов.

23 Физические основы электролюминесценции.

Темы докладов по разделу 2.2.

- 1 Лазеры на парах металлов.
- 2 Эксимерные лазеры.
- 3 Полупроводниковые лазеры.
- 4 Вакуумная микроэлектроника.
- 5 История и современное состояние СВЧ вакуумной электроники.
- 6 Плоские экраны на основе автоэлектронной эмиссии.
- 7 Приемно-усилительные лампы – история и современное состояние.
- 8 Современные кинескопы в сравнении с другими средствами отображения информации
- 9 Газоразрядные источники света – современное состояние и перспективы развития.
- 10 ВЧ разряды и их применение в технике.
- 11 СВЧ разряды и их применение в технике.
- 12 Применение дуговых разрядов.
- 13 Области применения тлеющих разрядов в приборах и в технологии.
- 14 Гетеропереходы и их применение в приборах.
- 15 Новые приборы на основе арсенида галлия.
- 16 Твердотельные приборы на основе соединений элементов второй и шестой групп.
- 17 Твердотельные приборы на основе соединений элементов четвертой группы.
- 18 Жидкокристаллические системы отображения информации.
- 19 Физика электролюминесцентных панелей.
- 20 Системы отображения информации на основе полупроводниковых приборов.
- 21 Газоразрядные индикаторные панели в системах отображения информации.
- 22 Новые электронно-лучевые приборы.
- 23 Биомикроэлектроника.

Контрольная работа по учебному модулю Физические основы электроники
Вариант №

1 Дан примесный полупроводник n-типа (Si) с удельным сопротивлением $\rho = 5,0 \cdot 10^{-1} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Определить:

- концентрацию электронов и дырок;
- отношение тока, обусловленного электронной составляющей, к току, обусловленному дырочной составляющей;
- полный ток, протекающий через полупроводник

Температура – 300 К.

2 Дан примесный полупроводник (Si). Концентрации легирующих примесей равны $N_A = 2,0 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и $N_D = 6,0 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Определить:

- тип проводимости;
- концентрацию основных и неосновных носителей заряда;
- удельную проводимость полупроводника.

Температура – 300 К.

3 В полупроводниковом кристалле Si сформирован p-n переход. При этом удельная проводимость p-области составила $\sigma_p = 1,0 \text{ 1/Ом} \cdot \text{см}$, а удельная проводимость n-области – $\sigma_n = 1,0 \cdot 10^2 \text{ 1/Ом} \cdot \text{см}$. Определить:

- контактную разность потенциалов в p-n переходе при температуре 300 К;
- плотность обратного тока насыщения, если диффузионная длина электронов равна $L_n = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, а диффузионная длина дырок – $L_p = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- отношение дырочной составляющей обратного тока насыщения к электронной;
- значение прямого напряжения, при котором плотность тока через p-n переход достигает значения $j = 1,0 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$.

4 Какова вероятность найти электрон на нижнем уровне зоны проводимости в полупроводниковом материале (собственный Si) при температуре $T = 300 \text{ К}$? Ответ обоснуйте.

5 Определить токи эмиттера и коллектора идеального транзистора, если коэффициент передачи эмиттерного тока $\alpha = 0,99$, коэффициент передачи коллекторного тока при инверсном включении $\alpha_I = 0,78$, обратный ток коллектора $I_{K0} = 1 \text{ мкА}$, обратный ток эмиттера $I_{E0} = 4 \text{ мкА}$, напряжения $U_{ЭБ} = 0,2 \text{ В}$, $U_{КБ} = -5 \text{ В}$.

А.3 Методические рекомендации по проведению лабораторных работ

При проведении лабораторного практикума студенты самостоятельно выполняют лабораторные работы, получая необходимые консультации у преподавателя. Занятия строятся следующим образом.

Первое занятие:

- проводится инструктаж по технике безопасности;
- студенты разбиваются на группы для выполнения ЛР;
- студенты знакомятся с порядком выполнения, защиты ЛР, правилами оформления отчета (в соответствии с СТО 1.701-2010. Текстовые документы. Общие требования к построению и оформлению);

- студентам указывается число баллов, которое можно набрать при выполнении лабораторного практикума;
- выдаются задания по лабораторным работам.

Второе занятие:

- студенты выполняют лабораторную работу.

На каждом последующем занятии:

- проводится защита выполненной лабораторной работы;
- выполняются последующие работы.

Лабораторный практикум считается выполненным, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы, набрав при этом минимально необходимую сумму баллов (40 баллов).

Для выполнения лабораторного практикума по УМ студенты должны пользоваться методическими указаниями: Электроника и микроэлектроника: Лабораторный практикум. / Сост. Г.В. Гудков, И.С. Телина; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2011. – 57с. Методические указания содержат описания объекта исследования, используемого лабораторного оборудования, методику и порядок проведения лабораторных работ, методы измерений и расчетов, указания по выполнению отчета о работе, контрольные вопросы.

А.4 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

В учебном пособии Терехов, В.А. Задачник по электронным приборам.– СПб.: Лань, 2003. – 278с. представлены задачи для самостоятельного решения, в т.ч. с решением.

Для подготовки к лабораторным работам, контрольной работе, докладам и экзамену рекомендуется пользоваться основной и дополнительной учебно-методической литературой, представленной в таблице А.1 и в карте учебно-методического обеспечения.

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов и одной задачи. Вопросы к экзамену.

- Электропроводность полупроводников
- Диффузионное движение носителей заряда в полупроводниках. Соотношение Эйнштейна
- Электрические переходы, классификация. Структура электронно-дырочного перехода (n-p перехода) в условиях термодинамического равновесия. Зонная энергетическая диаграмма n-p перехода
- Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии. Явления инжекции и экстракции носителей заряда
- Емкостные свойства n-p перехода. Барьерная и диффузионная емкости перехода
- Генерационно-рекомбинационные процессы в n-p переходе. Их влияние на вид реальной ВАХ n-p перехода
- Виды и механизмы пробоя
- Переход металл-полупроводник. Классификация. Энергетическая диаграмма перехода при различных соотношениях работы выхода электронов. Основные отличия перехода Шоттки от n-p перехода
- Физические процессы в биполярном транзисторе. Распределение носителей заряда в базе биполярного транзистора при различных режимах работы

- Биполярные транзисторы, принцип действия. Движение носителей заряда и распределение токов в транзисторе
- Эффект модуляции ширины базы биполярного транзистора. Смыкание переходов транзистора
- Анализ статических вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме включения с общей базой
- Понятие поверхностных состояний в полупроводниках. Изгиб энергетических зон у поверхности, поверхностный потенциал
- Полевые транзисторы с изолированным затвором. Строение и принцип действия. Статические ВАХ МДП-транзистора
- Явление насыщения тока стока в МДП транзисторе. Структура канала МДП транзистора в области насыщения тока стока
- Спонтанное и вынужденное излучение
- Общее устройство и краткое описание основных элементов лазера
- Свойства, параметры и назначение оптических резонаторов. Моды резонаторов, понятие добротности
- Монохроматичность лазерного излучения
- Фотоэлектронные умножители
- Яркость и мощность излучения лазеров. Плотность мощности
- Рубиновый лазер (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Неодимовый стеклянный лазер, лазер на алюмо-иттриевом гранате (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Гелий – неоновый лазер (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Лазер на парах меди (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Ионный аргоновый лазер (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Эксимерные лазеры (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Лазеры на молекулах азота и водорода (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Лазеры на молекулах углекислого газа (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Жидкостные лазеры (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)
- Термоэлектронная эмиссия металлов
- Эмиссия с поверхности полупроводников
- Фотоэлектронная эмиссия
- Вторичная электронная эмиссия и её применение в приборах
- Когерентность и чем она количественно характеризуется

- Эмиссия электронов под действием ионной бомбардировки
- Электронная оптика. Электронные линзы. Движение электронов в магнитных полях
- Магнитные линзы. Электронно-оптические системы и принципы их построения
- Ионно-оптические системы
- Отклонение электронов в электрических и магнитных полях. Принципы построения и работы электронно-лучевых приборов. Приемные, передающие, запоминающие ЭЛТ. Электронно-оптические преобразователи
- Движение электронов в режиме объемного заряда. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода
- Несамостоятельный разряд и его применение в приборах. Пробой разрядного промежутка
- Тлеющий разряд. Приборы тлеющего разряда
- Физические основы дугового и искрового разряда
- Плазма - основные понятия. Параметры плазмы и их определение. Излучение плазмы и его применение в приборах

Задачи на экзамене аналогичны задачам, разбираемым на практических занятиях. Пример решения содержится в учебном пособии Терехов, В.А. Задачник по электронным приборам.– СПб.: Лань, 2003. – 278с.

Пример экзаменационного билета представлен ниже. Полный комплект экзаменационных билетов приведен в приложении к фонду оценочных средств.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №
по модулю Физические основы электроники

1 Явление насыщения тока стока в МДП транзисторе. Структура канала МДП транзистора в области насыщения тока стока

2 Жидкостные лазеры (состав активной среды, длина волны и параметры излучения, области применения)

3 Плазма - основные понятия. Параметры плазмы и их определение. Излучение плазмы и его применение в приборах

4 В собственном полупроводнике концентрация электронов проводимости при температуре 300 К равна $1,5 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$. Определить полупроводник по ширине запрещенной зоны и найти положение уровня Ферми. Нарисовать энергетическую диаграмму. Известно, что $N_C \cdot N_V = 2,9 \cdot 10^{44} \text{ м}^{-3}$.

Зав. кафедрой ФТТМ

Б.И.Селезнев

«__» _____ 20__ г.

Приложение Б (обязательное)

Технологическая карта

учебного модуля «Физические основы электроники»

семестр – 4, ЗЕ – 6, вид аттестации – экзамен, акад. часов – 216, баллов рейтинга – 300

[illegible]

№ и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
Рубежный контроль по УЭМ2	18	не менее 63 балла из 125						
Экзамен						36		50
Итого:		36	18	36	18	126		300

Приложение В
(обязательное)

Паспорта компетенций ОПК-1, ОПК-2

ОПК-1 Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Знает основные понятия, принципы, законы физики вакуума, плазмы и твердого тела	Испытывает трудности в определении понятий, принципов и законов	Недостаточно четко объясняет понятия, принципы, законы	Четко объясняет значение понятий, принципов и законов
	Уметь использовать основные законы физики вакуума, плазмы и твердого тела при описании физических процессов, протекающих в электронных приборах	Испытывает трудности в использовании основных законов при описании физических процессов	Не всегда корректно использует основные законы при описании физических процессов	Способен правильно использовать основные законы при описании физических процессов
	Владеет методами экспериментального исследования параметров и характеристик электронных приборов	Испытывает трудности при использовании методов	Недостаточно уверенно использует методы	Полностью владеет методами

ОПК-2 Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Знает принципы использования физических процессов в электронных приборах	Испытывает трудности при демонстрации знаний о принципах использования	Допускает неточности при демонстрации знаний о принципах использования	Имеет целостное представление о принципах использования
	Имеет определять параметры и характеристики электронных приборов	Испытывает трудности при определении параметров и характеристик	Допускает неточности при определении параметров и характеристик	Способен правильно определить параметры и характеристики
	Владеет навыками анализа явлений и процессов, протекающих в электронных приборах	Испытывает трудности при анализе	Допускает неточности при анализе	Уверенно проводит анализ

Приложение Г
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения

Учебного модуля «**Физические основы электроники**»

Направление (специальность) 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Формы обучения очная

Курс 2 Семестр 4

Часов: всего 216, лекций 36, практ. зан. 18, лаб. раб. 36, СРС 126, в т.ч. 36 - экзамен

Обеспечивающая кафедра ФТТМ

Таблица Г.1 – Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1 Щука А.А. Электроника: учеб. пособие / Под ред. А.С. Сигова. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 799с.	25	
2 Киселев Г. Л. Квантовая и оптическая электроника : учеб. пособие / Г. Л. Киселев. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. - 313 с.	5	
3 Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / В.И. Старосельский. – М.: Юрайт, 2011. – 463 с.	12	
Учебно-методические издания		
1 Рабочая программа модуля с приложениями «Физические основы электроники» / Авт.-сост. И.С. Телина; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2017. – 22 с.		
2 Электроника и микроэлектроника: метод. указания к лаб. работам / сост. Г.В. Гудков, И.С. Телина; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2016. – 64 с.	10	

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электрон- ный адрес	Примечание

Таблица Г.3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1 Спиридонов О.П. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2008. – 190 с.: ил.	12	
2 Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учеб. пособие / Г.И.Епифанов. – 3-е изд., испр. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. – 287 с.: ил.	5	
3 Антипов Б.Л. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы: Учеб. для студентов вузов. – 3-е изд., стер. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2003. – 206с.	102	
4 Базовые лекции по электронике (в 2-х томах). Т. 1: Электривакуумная, плазменная и квантовая электроника / сб. под общ. ред. В. М. Пролейко. - М.: Техносфера, 2009. - 479 с.	2	
5 Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника : учеб. для студентов вузов / Федер. целевая прогр. книгоизд. России. - М.: Высшая школа, 2001. – 572 с.	15	

Действительно для учебного года _____ / _____

Зав. кафедрой _____ Б.И. Селезнев

« _____ » _____ 20 ____ г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ:

должность

подпись

расшифровка