

Министерство науки и высшего образования 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

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭИС
С.И.Эминов
« 08 » июль 2020 г.



ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Учебный модуль по направлению подготовки
09.03.01- Информатика и вычислительная техника
Профиль - Программное обеспечение вычислительной техники
и автоматизированных систем

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

П.В.Лысухо
« 08 » июль 2020 г.

Разработал

доцент кафедры ФТТМ

И.С.Телина
« 22 » март 2020 г.

Заведующий выпускающей
кафедрой ИТиС

Р.В. Петров
« 08 » июль 2020 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 13 от 02.06 2020 г.

Заведующий кафедрой

Б.И.Селезнев

1 Цели и задачи учебного модуля

Целью учебного модуля (УМ) является формирование компетентности студентов в области физических основ микроэлектроники, 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 микроэлектроники;
- формирование способностей студентов оценивать влияние физических процессов на электрические параметры и характеристики различных микроэлектронных приборов;
- формирование умений определять параметры и характеристики микроэлектронных приборов с использованием лабораторных макетов и пакетов прикладных программ.

Ведущая идея учебного модуля:

- физические процессы, определяющие принцип действия микроэлектронных приборов, имеют фундаментальное значение при проектировании различных функциональных узлов вычислительной техники.

2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Учебный модуль входит в вариативную часть блока 1, читается в 8 семестре по выбору.

Для изучения модуля используются знания, полученные при изучении модулей «Физика», «Математика», «Электротехника, электроника и схемотехника».

Для успешного усвоения модуля 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, статистические распределения, законы электростатики, природу магнитного поля и поведение веществ в магнитном поле, законы электромагнитной индукции, волновые процессы, 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;
- решать типовые задачи, связанные с основными разделами физики, использовать физические законы при анализе и решении проблем профессиональной деятельности.

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.

Базовые знания, полученные при изучении модуля, используются при подготовке и защите ВКР.

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-5 Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;
- ПК-2 Способность разрабатывать компоненты аппаратно-программных комплексов и баз данных, используя современные инструментальные средства и технологии программирования.

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

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-5	базовый	модели порождения экспериментальных данных в условиях контролируемых и неконтролируемых факторов; основные этапы обработки экспериментальных данных; статистики и критерии для выявления процессов статисти-	применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач; проверять соответствие выдвигаемых гипотез с заданным уровнем	навыками выбора адекватных целям исследования математических методов обработки экспериментальных данных; навыками реализации математических методов обработки экспериментальных данных в виде прикладных

		ческих характеристик случайных величин; методы установления стохастической зависимости между случайными величинами; методы интерполяции экспериментальных данных.	значимости экспериментальным результатам.	программных продуктов; навыками составления отчетов по методикам исследования и их реализации в виде ПО, анализа результатов обработки; методами и средствами разработки и оформления технической документации; навыками оформления экспериментальных данных с помощью офисных программных пакетов
ПК-2	повышенный	технологии разработки алгоритмов и программ, методы отладки и решения задач на ЭВМ в различных режимах	инсталлировать, тестировать, испытывать и использовать программно-аппаратные средства вычислительных и информационных систем; работать с современными системами программирования, включая объектно-ориентированные	языками процедурного и объектно-ориентированного программирования, навыками разработки и отладки программ не менее чем на одном из алгоритмических процедурных языков программирования высокого уровня

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 Электропроводность твердых тел;
- УЭМ2 Полупроводниковые приборы.

Таблица 1 - Распределение трудоемкости для очной формы обучения

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		8 сем.	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	6	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	216	216	
1) УЭМ1 Электропроводность твердых тел			
- лекции	22	22	ОПК-5, ПК-2
- практические занятия	22	22	
- лабораторные работы	-	-	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	9	
- внеаудиторная СРС	46	46	
2) УЭМ2 Полупроводниковые приборы			
- лекции	22	22	ОПК-5, ПК-2
- практические занятия	-	-	
- лабораторные работы	22	22	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	9	
- внеаудиторная СРС	46	46	
Аттестация:			
- экзамен	36	36	

Таблица 2 - Распределение трудоемкости для заочной формы обучения

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		10 сем.	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	6	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	216	216	
1) УЭМ1 Электропроводность твердых тел			
- лекции	5	5	ОПК-5,

- практические занятия	5	5	ПК-2
- лабораторные работы	-	-	
- в т.ч. аудиторная СРС	-	-	
- внеаудиторная СРС	80	80	
2) УЭМ2 Полупроводниковые приборы			
- лекции	5	5	ОПК-5, ПК-2
- практические занятия	-	-	
- лабораторные работы	5	5	
- в т.ч. аудиторная СРС	-	-	
- внеаудиторная СРС	80	80	
Аттестация:			
- экзамен	36	36	

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

УЭМ1 Электропроводность твердых тел

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 Электропроводность металлов и полупроводников

Электропроводность твердых тел. Электропроводность металлов, зависимость электропроводности металлов от температуры. Сверхпроводимость.

Зонная структура наиболее важных полупроводников Si, Ge, GaAs. Собственные полупроводники. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Статистика свободных носителей при тепловом равновесии: функция распределения, уровень Ферми, концентрация собственных носителей. Равновесные и неравновесные носители заряда. Уровень Ферми в собственных полупроводниках. 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.

Свободные носители в полупроводниках: дрейф и диффузия, подвижность, соотношение Эйнштейна. Основные уравнения, описывающие движение свободных носителей. Электропроводность собственных и примесных полупроводников. Зависимость подвижности носителей от температуры. Рассеяние носителей на примесях, дефектах решетки и фононах. Зависимость концентрации носителей заряда от температуры в области примесной и собственной электропроводности. Температурная зависимость электропроводности.

УЭМ2 Полупроводниковые приборы

2.1 Электронно-дырочный переход

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. Разновидности диодов. Основные параметры, характеристики и применение следующих полупроводниковых диодов: стабилитрона, стабилстора, варикапа, туннельного диода, обращенного диода, диода Ганна, лавинно-пролетного диода, pin диода, диода Шоттки, светодиода, фотодиода.

2.2 Биполярные транзисторы

Классификация и условные обозначения биполярных транзисторов. Принцип работы. Распределение токов в электродах транзистора. Внутренние параметры. Энергетическая диаграмма транзисторной структуры при термодинамическом равновесии и в активном режиме. Эффект модуляции ширины базы. Статические характеристики транзисторов: входные, выходные, передачи тока, обратной связи.

Режимы работы транзисторов. Модель Эберса-Молла. Малосигнальные параметры, эквивалентные схемы транзистора. Частотные свойства транзистора: предельная частота, максимальная частота усиления по мощности. Импульсные свойства транзисторов. Основные временные параметры, характеризующие работу транзистора в импульсном режиме.

2.3 Полевые транзисторы

Классификация полевых транзисторов. Условные обозначения. 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.

Работа выхода и контактная разность потенциалов. 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. Полевой транзистор с барьером Шоттки. Принцип действия, основные параметры и характеристики.

Компактные (SPICE) модели электронных компонентов. Модели компонентов с двумя выводами. Вольтамперная характеристика идеального диода на p-n переходе. Учет эффектов, имеющих место в реальном диоде. Реализация SPICE модели диода на p-n переходе. Реализация модели биполярного в AIM-Spice. Реализация компактных моделей МОП транзистора в программе SPICE.

4.3 Лабораторный практикум

Номер раздела УМ	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ак. час
2.1	Выпрямительный диод	4
2.1	Варикап	4
2.1	Стабилитрон	4
2.2	Биполярный транзистор	5
2.3	Полевой транзистор	5

4.4 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий 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 63 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 модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования» и Положением «О фонде оценочных средств». 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 для исследования выпрямительных диодов;
- макет для исследования варикапов;
- макет для 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 микроэлектроники»**

Учебный модуль «Физические основы микроэлектроники» разделен на два учебных элемента модуля (УЭМ): «Электропроводность твердых тел» и «Полупроводниковые приборы». Каждый из УЭМ состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия, а также лабораторные работы. Первый учебный элемент рассматривает физические явления и процессы, происходящие в твердых телах. Второй учебный элемент посвящен принципу действия, параметрам и характеристикам полупроводниковых приборов.

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 полупроводниковых приборов. 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 микроэлектроники»

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
УЭМ1 Электропроводность твердых тел			
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. 4 Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для вузов / Науч. ред. Л.А. Алешина. - М. : Техносфера, 2007. - 518с. 5 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с. : ил. 6 Терехов В.А. Задачник по электронным приборам : учеб. пособие. - 3-е изд., перераб. и доп. - СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2003. – 276с.
1.2 Общие положения зонной теории и статистики твердых тел	– информационная лекция – решение задач с обсуждением результатов	– решить задачи (ауд. СРС)	
1.3 Электропроводность металлов и полупроводников	– информационная лекция – решение задач с обсуждением результатов	– решить задачи (ауд. СРС)	
Рубежный контроль по УЭМ1	– проведение контрольной работы	– подготовиться и выполнить контрольную работу (ауд. СРС)	
УЭМ2 Полупроводниковые приборы			
2.1 Электронно-дырочный переход	– информационная лекция – проведение лабораторных работ	– подготовиться, выполнить и защитить лабораторные работы	1 Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров : учеб. пособие для вузов / Науч. ред. Л.А. Алешина. - М. :

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
2.2 Биполярные транзисторы	– информационная лекция – проведение лабораторных работ	– подготовиться, выполнить и защитить лабораторные работы	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.
2.3 Полевые транзисторы	– информационная лекция – проведение лабораторных работ	– подготовиться, выполнить и защитить лабораторные работы	3 Коваленко А.А. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов. - М.: Академия, 2006.
Рубежный контроль по УЭМ2	– проведение контрольной работы	– подготовиться и выполнить контрольную работу (ауд. СРС)	4 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с. : ил.

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

- Полевые транзисторы с барьером Шоттки (ПТШ).
- Основные параметры и характеристики ПТШ.
- Полевые транзисторы с изолированным затвором.
- Структура и принцип действия МДП-транзистора.
- Статические ВАХ МДП-транзистора.
- Время жизни и диффузионная длина.
- Равновесные и неравновесные носители заряда.
- Причины, вызывающие появление неравновесных носителей.
- Генерация и рекомбинация носителей заряда.
- Механизмы рекомбинации.
- Собственная и примесная проводимость полупроводников.
- Температурная зависимость удельной проводимости невырожденных примесных полупроводников.
- Электропроводность чистых металлов и сплавов.
- Диффузионный ток в полупроводниках.
- Коэффициент диффузии.
- Соотношение Эйнштейна.
- Дрейфовый ток в полупроводниках.
- Подвижность носителей заряда.
- Температурная зависимость подвижности.
- Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках.

- Температурная зависимость концентрации основных носителей заряда.
- Вырожденные и невырожденные полупроводники.
- Статистика Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана.
- Уровень Ферми.
- Выражения для концентраций электронов и дырок.
- Закон действующих масс.
- Примесные полупроводники.
- Примесные уровни.
- Основные и неосновные носители заряда.
- Собственные полупроводники.
- Образование энергетических зон.
- Проводники, диэлектрики, полупроводники с точки зрения зонной теории.
- Строение кристаллов.
- Дефекты кристаллической решетки.
- Поверхностные энергетические уровни.
- Поверхностная рекомбинация.
- Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости (p-n-переход) в состоянии равновесия.
- Зонная диаграмма контакта.
- Контактная разность потенциалов.
- P-n-переход при приложении внешнего напряжения.
- Зонные диаграммы для прямого и обратного смещения.
- Вольт-амперная характеристика контакта.
- Условия, необходимые для создания выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
- Зонная диаграмма контакта в состоянии равновесия.
- Выпрямляющий контакт металл-полупроводник при приложении внешнего напряжения.
- Зонные диаграммы для прямого и обратного смещения.
- Вольт-амперная характеристика.
- Омический контакт металл-полупроводник. Условия, необходимые для его создания.
- Устройство и принцип действия биполярного транзистора.
- Схемы включения биполярного транзистора.
- Активный режим биполярного транзистора. Инжекция и экстракция. Распределение носителей заряда в базе.
- Составляющие токов эмиттера, базы, коллектора. Коэффициенты инжекции, переноса, передачи тока.
- Входные и выходные статические характеристики биполярного транзистора в схемах с общим эмиттером и общей базой.
- Частотные и импульсные характеристики биполярного транзистора.
- Параметры биполярного транзистора.

- Устройство и принцип действия МОП-транзистора.
- Транзисторы со встроенным и индуцированным каналом.
- Выходные и передаточные характеристики МОП-транзисторов со встроенным и индуцированным каналом.
- Параметры МОП-транзистора.

Комплект экзаменационных билетов представлен в приложении к фонду оценочных средств модуля. Пример экзаменационного билета.

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

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №
по модулю Физические основы микроэлектроники

1 Примесные полупроводники. Примесные уровни.

2 Параметры биполярного транзистора.

3 Определить концентрацию электронов и дырок в образце германия, который имеет концентрацию донорных атомов $N_D = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и концентрацию акцепторных атомов $N_A = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при $T = 300 \text{ К}$.

Зав. кафедрой ФТТМ

Б.И.Селезнев

«__»_____ 20__ г.

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.

На 9 и 18 неделях проводятся контрольные работы. Задачи для контрольных работ аналогичны задачам, разбираемым на практических занятиях. Комплект контрольных заданий представлен в приложении к фонду оценочных средств модуля.

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;
- 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 (25 баллов). Перечень ЛР указан в разделе 4.3 настоящей рабочей программы.

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

Примеры разноуровневых задач с решением представлены в учебном пособии: Терехов В.А. Задачник по электронным приборам.– СПб.: Лань, 2003. – 278с.

Опросы можно проходить дома с использованием учебной литературы.

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

Приложение Б
(обязательное)

Технологическая карта

учебного модуля «Физические основы микроэлектроники»

Формы обучения – очная, семестр – 8, ЗЕ – 6, вид аттестации – экзамен, акад.часов – 88, баллов рейтинга – 300

№ 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			
УЭМ1 Электропроводность твердых тел	1-9	22	22	-	9	46		125
1.1 Кристаллическое и аморфное состояние вещества	1-3	6	6		2		разноуровневые задачи	10
1.2 Общие положения зонной теории и статистики твердых тел	4-6	8	8		2		разноуровневые задачи	30
1.3 Электропроводность металлов и полупроводников	7-9	8	8		3	23	разноуровневые задачи	30
							опрос	10
Рубежный контроль по УЭМ1	9				2	23	контрольная работа	45
Рубежная аттестация – не менее 50 балла из 100								
УЭМ2 Полупроводниковые приборы	10-18	22	-	22	9	46		125
2.1 Электронно-дырочный переход	10-12	6		12	3	10	лабораторные работы	30
							опрос	10
2.2 Биполярные транзисторы	13-15	8		5	2	12	лабораторные работы	10
							опрос	10
2.3 Полевые транзисторы	16-18	8		5	2	12	лабораторные работы	10
							опрос	10
Рубежный контроль по УЭМ2	18				2	12	контрольная работа	45
Семестровый контроль						36	экзамен	50
Итого:		44	22	22	18	128		300

Технологическая карта

учебного модуля «Физические основы микроэлектроники»

Формы обучения – заочная, семестр – 10, 3Е – 6, вид аттестации – экзамен, акад.часов – 18, баллов рейтинга – 300

№ и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					СРС	Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия							
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС				
УЭМ1 Электропроводность твердых тел	1-9	5	5	-	-	80		125	
1.1 Кристаллическое и аморфное состояние вещества	1-3	1	-			20			
1.2 Общие положения зонной теории и статистики твердых тел	4-6	1	-			20			
1.3 Электропроводность металлов и полупроводников	7-9	3	5			20			
Рубежный контроль по УЭМ1	9					20	контрольная работа	125	
Рубежная аттестация – не менее 50 балла из 100									
УЭМ2 Полупроводниковые приборы	10-18	5	-	5	-	80		125	
2.1 Электронно-дырочный переход	10-12	2		5		20	лабораторная работа	25	
2.2 Биполярные транзисторы	13-15	1		-		20			
2.3 Полевые транзисторы	16-18	2		-		20			
Рубежный контроль по УЭМ2	18					20	контрольная работа	100	
Семестровый контроль						36	экзамен	50	
Итого:		10	5	5	-	196		300	

Приложение В
(обязательное)

Паспорт компетенции ОПК-5

ОПК-5 Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Знать модели порождения экспериментальных данных в условиях контролируемых и неконтролируемых факторов; основные этапы обработки экспериментальных данных; статистики и критерии для выявления процессов статистических характеристик случайных величин; методы установления стохастической зависимости между случайными величинами; методы интерполяции экспериментальных данных.	Испытывает трудности в определении моделей, статистик и методов	Недостаточно четко объясняет моделей, статистик и методов	Четко объясняет значение моделей, статистик и методов
	Уметь применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач; проверять соответствие выдвигаемых гипотез с заданным уровнем значимости экспериментальным результатам.	Испытывает трудности при применении методов и проверке гипотез	Допускает неточности при применении методов и проверке гипотез	Способен правильно применять методы и проверять гипотезы
	Владеть навыками выбора адекватных целям исследования математических методов обработки экспериментальных данных; навыками реализации математических методов обработки экспериментальных данных в виде прикладных программных продуктов; навыками составления отчетов по методикам исследования и их реализации в виде ПО, анализа результатов обработки; методами и средствами разработки и оформления технической документации; навыками оформления экспериментальных данных с помощью офисных программных пакетов.	Испытывает трудности при обработке экспериментальных данных	Недостаточно уверенно обрабатывает экспериментальные данные	Четко и правильно обрабатывает экспериментальные данные

Паспорт компетенции ПК-2

ПК-2 Способность разрабатывать компоненты аппаратно-программных комплексов и баз данных, используя современные инструментальные средства и технологии программирования

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный уровень	Знать технологию разработки алгоритмов и программ, методы отладки и решения задач на ЭВМ в различных режимах	Испытывает трудности в определении технологии и методов	Недостаточно четко объясняет технологию и методы	Четко объясняет значение технологии и методов
	Уметь устанавливать, тестировать, испытывать и использовать программно-аппаратные средства вычислительных и информационных систем; работать с современными системами программирования, включая объектно-ориентированные	Испытывает трудности при работе с современными системами программирования	Допускает неточности в процессе работы с современными системами программирования	Способен правильно работать с современными системами программирования
	Владеть языками процедурного и объектно-ориентированного программирования, навыками разработки и отладки программ не менее чем на одном из алгоритмических процедурных языков программирования высокого уровня	Испытывает трудности при разработке и отладке программ	Недостаточно уверенно занимается разработкой и отладкой программ	Четко и правильно занимается разработкой и отладкой программ

Приложение Г
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения

Учебного модуля «**Физические основы микроэлектроники**»

Направление (специальность) 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Формы обучения очная, заочная

Курс 4 Семестр 8

Часов: всего 216, лекций 44 (10), практ. зан. 22 (5), лаб. раб. 22 (5), СРС 128 (196) (в том числе 36 ч. – на 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 Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / В.И. Старосельский. – М.: Юрайт, 2011. – 463 с.	12	
2 Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы : учеб. пособие для вузов. - СПб. : Лань, 2006, 2012. - 478с. : ил.	11	
Учебно-методические издания		
3 Рабочая программа модуля с приложениями «Физические основы микроэлектроники» /Авт.-сост. И.С.Телина; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2014. – 16 с.		
4 Электроника и микроэлектроника: Лабораторный практикум. / Сост. Г.В. Гудков, И.С. Телина; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2011. – 57с.		

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

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

Действительно для учебного года 2020 / 2021

Зав. кафедрой  Б.И. Селезнев

02 июня 2020 г.