

2

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

СВЕРЖДАЮ
Институт
информационных
и радио-
электроники
Директор института
А.А. Галкин
« 08 » 2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физические основы микро – и наноэлектроники»

Направление подготовки 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Профиль подготовки: «Компьютерный дизайн электронных средств»

г. Владимир
2019

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов знаний о физических процессах, лежащих в основе функционирования полупроводниковых структур современной твердотельной микроэлектроники, физических основах функциональной электроники, физической природе эффектов и явлений в наноструктурах и принципах наноэлектроники.

Задачи:

- формирование у студентов базовых знаний в области физических процессов твердотельной микроэлектроники;
- приобретение студентами навыков расчёта параметров полупроводниковых материалов, анализа характеристик полупроводниковых приборов;
- формирование представлений о физической основе функциональной электроники;
- формирование представлений о перспективных направлениях развития микро - и наноэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физические основы микро – и наноэлектроники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Пререквизиты дисциплины: «Физика», «Высшая математика», «Физико-химические процессы в технологии электронных средств».

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций).

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели схем, конструкций и технологических процессов электронных средств различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства и их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает физические основы и простейшие математические модели процессов в полупроводниковых структурах электроники, физические принципы наноэлектроники.	Знает простейшие физические и математические модели процессов в полупроводниках и структурах твердотельной микроэлектроники, физические принципы наноэлектроники.	Задания рейтинг - контроля. Отчеты по лабораторным работам. Расчётно-графическая работа. Отчёт по практической подготовке.
	ПК-1.2. Строит простейшие физические и математические модели процессов в структурах полупроводниковой электроники.	Умеет строить простейшие физические модели и рассчитывать основные параметры, характеризующие физические процессы в полупроводниковых структурах.	
	ПК-1.3. Анализирует физические и математические модели	Владеет навыками применения полученных знаний и умений для	

	процессов в полупроводниковых структурах микроэлектроники.	анализа простейших физических и математических моделей процессов в полупроводниковых структурах микроэлектроники.	
--	--	---	--

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа.

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Электропроводность полупроводников	4	1-7	8		12	6	28	
	Тема 1. Общие сведения о полупроводниках.		1	2				4	
	Тема 2. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике.		3	2		4	2	8	
	Тема 3 Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках.		5	2		4	2	8	Рейтинг - контроль №1
	Тема 4. Подвижность носителей заряда в полупроводниках.		7	2		4	2	8	
2	Токи в полупроводниках	4	9-11	4				14	
	Тема 1. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.		9	2				6	
	Тема 2. Генерация и рекомбинация носителей заряда.		11	2				8	Рейтинг - контроль №2
3	Контактные явления в полупроводниках	4	13-17	6		6	3	30	
	Тема 1. Физические явления в контакте металла с		13	2				6	

	полупроводником								
	Тема 2. Полупроводниковый электронно-дырочный переход в состоянии равновесия		15	2		2	1	12	
	Тема 3. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в неравновесном состоянии		17	2		4	2	12	Рейтинг - контроль №3
	Всего за семестр:	4	18	18		18		72	Экзамен(36)
4	Физические принципы работы полупроводниковых структур с электронно-дырочным переходом	5	1-4	8		16	8	18	
	Тема 1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом		1	2		4	2	4	
	Тема 2. Виды полупроводниковых диодов		2	2		4	2	4	
	Тема 3. Физические процессы в биполярных транзисторах		3	2		4	2	6	
	Тема 4. Статические характеристики биполярных транзисторов		4	2		4	2	4	
5	Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник	5	5-8	8		8	4	18	
	Тема 1. Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник		5	2				4	Рейтинг - контроль №1
	Тема 2. . Полевые транзисторы с изолированным затвором		6	2		4	2	6	
	Тема 3. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом		7	2		4	2	6	
	Тема 4. Биполярные транзисторы с изолированным затвором.		8	2				2	
6	Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем.		9, 10	4		8	4	12	
	Тема 1. Конструкции элементов полупроводниковых интегральных микросхем		9	2		4	2	4	

	Тема 2. Принципы технологии производства полупроводниковых микросхем.		10	2		4	2	4	
7	Основы функциональной электроники		11-13	6		4	2	10	
	Тема 1. Основные направления функциональной электроники.		11	2				2	Рейтинг - контроль №2
	Тема 2. Физические основы оптоэлектроники.		12	2		4	2	6	
	Тема 3. Физические основы магнитоэлектроники		13	2				2	
8	Основы нанoeлектроники		14-18	10				14	
	Тема 1. Физические принципы нанoeлектроники		14	2				2	
	Тема 2. Материалы и структуры нанoeлектроники		15	2				2	
	Тема 3. Нанотранзисторные структуры		16	2				2	
	Тема 4. Элементы и устройства одноэлектроники и молекулярной нанoeлектроники		17	2				4	Рейтинг - контроль №3
	Тема 5. Функциональная нанoeлектроника		18	2				4	
	Всего за семестр:	5	18	36		36		72	Экзамен(36)
	Наличие в дисциплине КП/КР					-			-
	Итого по дисциплине:	4, 5	36	54		54		144	Экзамен(36), экзамен(36)

Содержание лекционных занятий по дисциплине 4 семестр

Раздел 1 Электропроводность полупроводников

Тема 1. Общие сведения о полупроводниках

Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников. Полупроводники с собственной проводимостью. Примесные полупроводники с электронной и дырочной проводимостью. Зонная энергетическая структура собственного полупроводника. Зонная энергетическая структура примесного полупроводника.

Тема 2. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике

Функция распределения плотности состояний в зонах собственного полупроводника. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости. Эффективная плотность состояний в валентной зоне. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана). Концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.

Тема 3. Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках

Концентрация электронов в полупроводнике, содержащем донорную примесь. Концентрация дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь. Уравнение

электронейтральности. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках (примесь одного вида). Компенсированный полупроводник. Вырожденный полупроводник.

Тема 4. Подвижность носителей заряда в полупроводниках

Механизмы рассеяния носителей заряда. Время и длина свободного пробега. Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на нейтральных центрах. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки. Зависимость длины свободного пробега электрона от температуры. Подвижность носителей заряда. Температурная зависимость подвижности. Электропроводность полупроводников. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.

Раздел 2 Токи в полупроводниках

Тема 1. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда

Изменение числа носителей заряда при наличии процессов диффузии и дрейфа. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Коэффициент диффузии электронов и дырок. Соотношение Эйнштейна. Движение неосновных носителей заряда. Диффузионная длина для неосновных носителей.

Тема 2. Генерация и рекомбинация носителей заряда

Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная генерация носителей заряда. Монополярная генерация носителей заряда. Виды рекомбинации. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через центры захвата. Скорость генерации и рекомбинации носителей заряда. Время жизни носителей заряда. Поверхностная рекомбинация.

Раздел 3. Контактные явления в полупроводниках

Тема 1. Физические явления в контакте металла с полупроводником.

Контакт металла с полупроводником. Работа выхода и контактная разность потенциалов. Типы контактов металла с полупроводником. Обогащенный и обедненный приконтактные слои в полупроводниках. Омический контакт. Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда (ОПЗ) контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения. Виды токов через контакт. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.

Тема 2. Полупроводниковый электронно-дырочный переход в состоянии равновесия

Электронно-дырочный переход ($p-n$ переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов. Зонная модель $p-n$ перехода в равновесном состоянии. Влияние электрофизических характеристик электронно-дырочного перехода и температуры на контактную разность потенциалов.

Тема 3. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в неравновесном состоянии

Зонная модель $p-n$ перехода при прямом и обратном смещениях. Зависимость толщины области пространственного заряда $p-n$ перехода от внешнего приложенного напряжения. Барьерная емкость $p-n$ -перехода. Диффузионная емкость. Виды токов через $p-n$ переход. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) $p-n$ перехода. Физические явления в гетеропереходах.

5 семестр

Раздел 4. Физические принципы работы полупроводниковых структур с электронно-дырочными переходами

Тема 1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом

Вольт-амперная характеристика идеального диода на основе $p-n$ перехода. Влияние

объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов. Влияние генерации неравновесных носителей в области объемного заряда $p-n$ перехода на обратный ток диода. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в ОПЗ $p-n$ перехода на прямой ток диода. Пробой $p-n$ перехода и его механизмы. Виды пробоя $p-n$ перехода: лавинный, туннельный, тепловой.

Тема 2. Виды полупроводниковых диодов

Классификация диодов по протекающим физическим процессам. Туннельные, лавинные и лавинно-пролетные диоды, фотодиоды, светодиоды, магнитодиоды, диоды Ганна. Классификация диодов по назначению: выпрямительные, универсальные, импульсные, стабилитроны, детекторные, параметрические, смесительные, СВЧ-диоды и др.

Тема 3. Физические процессы в биполярных транзисторах

Структура и принцип действия биполярного транзистора. Основные режимы работы. Физические процессы в бездрейфовом биполярном транзисторе в активном режиме. Виды потоков носителей заряда. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе. Дрейфовый транзистор.

Тема 4. Статические характеристики биполярных транзисторов

Схемы включения биполярного транзистора. Статические характеристики. Входные и выходные характеристики для включения с общей базой и общим эмиттером. Влияние температуры на статические характеристики транзистора.

Раздел 5. Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник

Тема 1. Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник

Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Зависимость емкости МДП-структуры от напряжения в режиме обеднения.

Тема 2. Полевые транзисторы с изолированным затвором

Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП – транзисторы). Режимы работы МДП-структур, энергетические диаграммы и электрические характеристики. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами. Факторы, определяющие быстродействие МДП-транзисторов.

Тема 3. Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ переходом

Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ переходом. Структура, физические процессы в транзисторе и электрические характеристики. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.

Тема 4. Биполярные транзисторы с изолированным затвором

Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Структура биполярного транзистора с изолированным затвором. Физические процессы в биполярных транзисторах с изолированным затвором. Режимы работы, электрические характеристики.

Раздел 6. Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем

Тема 1. Конструкции элементов полупроводниковых интегральных микросхем

Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению. Степень интеграции микросхем. Конструктивно-технологические особенности и варианты интегральных биполярных и МПД – транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов. Биполярно – полевые структуры. Многоэмиттерные транзисторы, многоколлекторные транзисторы, транзистор с барьером Шоттки. Функционально интегрированные элементы.

Тема 2. Принципы технологии производства полупроводниковых микросхем.

Основные технологические операции в производстве микросхем Методы формирования р-п переходов в полупроводниках. Литография. Планарно-эпитаксиальная технология изготовления биполярной ИС. МДП – технология. Особенности КМДП технологии. Конструкторско-технологические проблемы интегральной микроэлектроники. Трехмерная реализация компонентов микросхем.

Раздел 7. Основы функциональной электроники

Тема 1. Основные направления функциональной электроники

Ограничения в схемотехнической интегральной электронике по физическим и технологическим факторам. Статистические и динамические неоднородности. Физические поля и процессы, обеспечивающие возникновение, продвижение и взаимодействие динамических неоднородностей в континуальной среде. Типы носителей информационного сигнала. Оптоэлектроника. Магнитоэлектроника. Акустоэлектроника.

Тема 2. Физические основы оптоэлектроники

Виды люминесценции. Полупроводниковые излучатели. Светодиоды, лазеры. Основные процессы, параметры и характеристики. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость. Вентильная фотоэлектродвижущая сила. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы. Основные направления развития фотоники.

Тема 3. Физические основы магнитоэлектроники

Основные направления развития магнитоэлектроники. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Конструкция и вольтамперная характеристика магнитодиода. Биполярные магнитотранзисторы. Структура и статические выходные характеристики. Полевые гальваномагниторекомбинационные магнитотранзисторы.

Раздел 8. Основы нанoeлектроники

Тема 1. Физические основы нанoeлектроники

Ограничения развития микроэлектроники. Низкоразмерные структуры. Классификация. Структуры с двумерным электронным газом (одномерной потенциальной ямой). Низкоразмерные структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити). Низкоразмерные структуры с нульмерным электронным газом (квантовые точки).

Тема 2. Материалы и структуры нанoeлектроники

Полупроводниковые материалы в нанoeлектронике. Графен. Углеродные нанотрубки. Фуллерены. Гетероструктуры. Полупроводниковые и металлические наноструктуры.

Тема 3. Нанотранзисторные структуры

КНИ-транзисторы (кремний на изоляторе) с ультратонким основанием. МДП приборы с управляемой проводимостью канала, с двойным затвором. Плавниковоподобный полевой транзистор (Fin FET). Полевой n-канальный транзистор с затвором Шоттки. Транзисторы на квантовых точках Транзисторы на резонансном туннелировании.

Тема 4. Элементы и устройства одноэлектроники и молекулярной нанoeлектроники

Эффект одноэлектронного туннелирования. Кремниевые одноэлектронные приборы. Одноэлектронные транзисторы на основе гетероструктур. Структура металлического одноэлектронного транзистора. Элементы молекулярной электроники: синтетические молекулы и биомолекулы (ДНК) Молекулярные транзисторы на фуллерене и углеродной нанотрубке. Полевой нанотранзистор на основе нанотрубки.

Тема 5. Функциональная нанoeлектроника

Нанотехнологии в области запоминающих устройств: магнитные, ферроэлектрические, молекулярные, НЭМС-технологии, Физико-технологические принципы структур магнитонанoeлектроники. Устройства магнитонанoeлектроники..

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

4 семестр

Раздел 1. Электропроводность полупроводников

Тема 1. Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике

Лабораторная работа « Статистика носителей заряда в собственном полупроводнике» Изучение зонной энергетической структуры собственного полупроводника. Определение положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. Расчёт концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике.

Тема 2. Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках

Лабораторная работа « Статистика носителей заряда в примесных полупроводниках» Изучение зонной энергетической структуры примесных полупроводников. Расчёт концентрации электронов в полупроводнике, содержащем донорную примесь. Расчёт концентрации дырок в полупроводнике, содержащем акцепторную примесь. Определение положения уровня Ферми в невырожденных примесных полупроводниках.

Тема 3. Подвижность носителей заряда в полупроводниках

Лабораторная работа « Электропроводность полупроводников» Изучение механизмов рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Расчет электропроводности полупроводников. Температурная зависимость подвижности. Изучение зависимости электропроводности полупроводников от температуры.

Раздел 3. Контактные явления в полупроводниках

Тема 1. Полупроводниковый электронно-дырочный переход в состоянии равновесия

Лабораторная работа « Свойства полупроводникового электронно-дырочного перехода» Анализ зонной модели электронно-дырочного перехода ($p-n$ перехода) в равновесном состоянии. Возникновение потенциального барьера. Расчёт контактной разности потенциалов. Влияние электрофизических характеристик электронно-дырочного перехода и температуры на контактную разность потенциалов.

Тема 2. Физические процессы в электронно-дырочном переходе в неравновесном состоянии

Лабораторная работа « Свойства полупроводникового электронно-дырочного перехода» Анализ зонной модели $p-n$ перехода при прямом и обратном смещениях. Зависимость толщины области пространственного заряда $p-n$ перехода от внешнего приложенного напряжения. Анализ токов через $p-n$ переход. Моделирование вольт-амперной характеристики идеального диода на основе $p-n$ перехода.

5 семестр

Раздел 4. Физические принципы работы полупроводниковых структур с электронно-дырочным переходом

Тема 1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов с электронно-дырочным переходом

Лабораторная работа « Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах». Изучение методики экспериментального исследования характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.

Тема 2. Виды полупроводниковых диодов

Лабораторная работа « Исследование диода с переменной ёмкостью (варикапа)». Изучение методики экспериментального исследования диода с переменной ёмкостью

(варикапа). Зависимость толщины области пространственного заряда р-п перехода от внешнего приложенного напряжения.

Тема 3. Физические процессы в биполярных транзисторах

Лабораторная работа « Исследование р-п переходов и выходных характеристик биполярного транзистора » Изучение методики экспериментального исследования р-п переходов биполярного транзистора и снятие его выходных характеристик. Основные режимы работы биполярных транзисторов. Анализ физических процессов в биполярном транзисторе в активном режиме. Выходные характеристики транзистора для включения с общим эмиттером.

Тема 4. Статические характеристики биполярных транзисторов

Лабораторная работа « Исследование статических характеристик биполярного транзистора на постоянном токе ». Изучение методики экспериментального исследования статических характеристик транзистора на постоянном токе. Схемы включения биполярного транзистора. Статические характеристики. Входная, выходная характеристики.

Раздел 5 Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник

Тема 1. Полевые транзисторы с изолированным затвором

Лабораторная работа « Исследование статических характеристик полевого транзистора с изолированным затвором». Изучение методики экспериментального исследования статических характеристик полевого транзистора с изолированным затвором и индуцированным каналом. Анализ режимов работы МДП-структур. Вольт-амперные характеристики.

Тема 2. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом

Лабораторная работа « Исследование статических характеристик полевого транзистора с р-п переходом». Изучение методики экспериментального исследования статических характеристик полевого транзистора. Структура, физические процессы в транзисторе и электрические характеристики. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.

Раздел 6. Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем

Тема 1. Конструкции элементов полупроводниковых интегральных микросхем

Лабораторная работа «Топология и конструкция полупроводниковых интегральных микросхем». Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению. Изучение структуры и топологии элементов полупроводниковых интегральных микросхем. Конструктивно-технологические особенности и варианты интегральных биполярных и МПД – транзисторов. Определение степени интеграции микросхем.

Тема 2. Принципы технологии интегральной микроэлектроники.

Лабораторная работа «Изучение планарно-эпитаксиальной технологии изготовления полупроводниковых микросхем на биполярных транзисторах». Изучение основных технологических операций и их последовательности в производстве полупроводниковых микросхем на биполярных транзисторах. Методы формирования р-п переходов в полупроводниках. Создание топологического рисунка.

Раздел 7. Основы функциональной электроники

Тема 1. Физические основы оптоэлектроники.

Лабораторная работа « Исследование вольтамперной характеристики светодиода » Изучение методики экспериментального снятия вольтамперной характеристики светодиода. Основные физические процессы, параметры и характеристики светодиодов.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1 Текущий контроль успеваемости 4 семестр

(рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3)

Контрольные вопросы

Рейтинг - контроль №1

1. Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники.
3. Зонная энергетическая структура собственного полупроводника.
4. Зонная энергетическая структура примесного полупроводника.
5. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Больцмана).
6. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
7. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в электронном полупроводнике.
8. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в дырочном полупроводнике.

Рейтинг - контроль №2

1. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.
2. Эффективное время жизни носителей заряда в полупроводниках.
3. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
4. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
5. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводниках.
6. Уравнение непрерывности.
7. Инжекция и экстракция носителей заряда
8. Генерационно – рекомбинационные процессы в полупроводниках.
9. Виды рекомбинации.
10. Время жизни носителей заряда.

Рейтинг-контроль №3

1. Свойства контактов металл-полупроводник при различных соотношениях термодинамических работ выхода. Контактная разность потенциалов
2. Омический и выпрямляющий контакты. Зонные диаграммы.
3. Виды токов через контакт металл – полупроводник.
4. Вольтамперная характеристика барьера Шоттки.
5. Принципы формирования $p - n$ переходов в полупроводнике. Контактная разность потенциалов.
6. Диаграмма энергетических уровней электронно–дырочного перехода.
7. Зонная модель $p-n$ перехода при прямом внешнем напряжении.
8. Зонная модель $p-n$ перехода при обратном внешнем напряжении.
9. Барьерная емкость $p-n$ перехода.
10. Диффузионная емкость $p-n$ перехода.
11. Вольт-амперная характеристика идеального $p-n$ перехода.
12. Виды токов через $p-n$ переход.

5 семестр

(рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3)

Контрольные вопросы

Рейтинг-контроль № 1

1. Теоретическая вольт-амперная характеристика p - n перехода
2. Влияние температуры, концентрации примесей и ширины запрещенной зоны на вольт-амперную характеристику.
3. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.
4. Вольт-амперная характеристика реального p - n перехода.
5. Пробой p - n перехода и его механизмы.
6. Классификация полупроводниковых диодов по протекающим физическим процессам.
7. Классификация полупроводниковых диодов по назначению.
8. Структура и основные режимы работы биполярного транзистора.
9. Виды потоков носителей заряда в биполярном транзисторе.
10. Схемы включения биполярного транзистора.
11. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора для включения с общей базой и общим эмиттером.
12. Сущность эффекта поля. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника в равновесных условиях
13. Зонные диаграммы приповерхностной области полупроводника n -типа в состояниях обогащения, обеднения, слабой инверсии, сильной инверсии.
14. Система металл – диэлектрик – полупроводник (МДП-структура).
15. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры.

Рейтинг-контроль №2

1. Физические процессы в полевых транзисторах с изолированным затвором (МДП – транзисторах).
2. Режимы работы МДП – транзисторов, параметры, вольт – амперные характеристики.
3. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
4. Физические процессы в транзисторе с управляющим p - n переходом и электрические характеристики.
5. Режимы работы, параметры, вольт – амперные характеристики полевых транзисторов с управляющим p - n переходом.
6. Структура биполярного транзистора с изолированным затвором.
7. Физические процессы в биполярных транзисторах с изолированным затвором
8. Режимы работы, электрические характеристики биполярных транзисторов с изолированным затвором.
9. Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению.
10. Конструктивно-технологические особенности и варианты структур интегральных биполярных транзисторов,
11. Конструктивно-технологические особенности и варианты структур МПД – транзисторов
12. Биполярно – полевые структуры интегральных полупроводниковых микросхем.
13. МДП – элементы полупроводниковых запоминающих устройств.
14. Трехмерные конструкции элементов полупроводниковых микросхем.
15. Основные технологические операции в производстве микросхем.
16. Ограничения двумерных интегральных схем.
17. Трехмерная архитектура интегральных схем.
18. Типы SD-микросборок

19. Основные направления развития микроэлектронных технологий.

Рейтинг-контроль №3

1. Ограничения интегральной электроники по физическим и технологическим факторам.
2. Основные направления функциональной электроники.
3. Виды люминесценции,
4. Светодиоды. Основные физические процессы, параметры и характеристики.
5. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость.
6. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы.
7. Основные направления развития фотоники.
8. Основные направления развития магнитоэлектроники.
9. Гальваномагнитные явления в полупроводниках.
10. Структура и основные характеристики магнитодиодов, биполярных и полевых магнитотранзисторов.
11. Ограничения развития микроэлектроники. Классификация низкоразмерных структур.
12. Материалы и структуры нанозлектроники.
13. Нанотранзисторные структуры.
14. Элементы и устройства одноэлектроники.
15. Элементы молекулярной электроники.
16. Нанотехнологии в области запоминающих устройств.

5.2 Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен)

4 семестр

Вопросы для подготовки к экзамену

1. Понятие энергетических зон в твёрдом теле. Энергетические зонные диаграммы металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси в кремнии.
3. Зонная энергетическая структура полупроводника с собственной проводимостью. Структура энергетических зон в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
4. Эффективная плотность состояний в зоне проводимости и валентной зоне полупроводника. Функции распределения электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана). Зависимость функции распределения от температуры.
5. Концентрация носителей заряда, положение уровня Ферми полупроводника с собственной проводимостью.
6. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с электронным типом проводимости. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном электронном полупроводнике.
7. Энергетическая зонная диаграмма полупроводника с дырочным типом проводимости. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в невырожденном дырочном полупроводнике.
8. Уравнение электронейтральности (примесь одного вида). Взаимная компенсация доноров и акцепторов. Компенсированный полупроводник. Вырожденный полупроводник.
9. Механизмы рассеяния и подвижность свободных носителей заряда в полупроводниках.
10. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
11. Связь электропроводности с концентрацией носителей заряда и их подвижностью. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.

12. Диффузионная и дрейфовая компоненты плотности тока и полупроводнике. Коэффициент диффузии электронов и дырок. Соотношение Эйнштейна.
13. Уравнения непрерывности для свободных носителей заряда в полупроводниках с учетом дрейфового тока, генерации и рекомбинации носителей заряда.
14. Движение неосновных носителей заряда. Диффузионная длина для неосновных носителей.
15. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда.
16. Биполярная генерация носителей заряда. Монополярная генерация носителей заряда.
17. Время жизни носителей заряда в полупроводниках. Механизмы рекомбинации носителей заряда.
18. Контакт металла с полупроводником Работа выхода и контактная разность потенциалов.
19. Типы контактов металла с полупроводником. Обогащенный и обедненный приконтактные слои в полупроводниках.
20. Невыпрямляющие (омические) контакты. Энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состояниях.
21. Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения.
22. Энергетические диаграммы барьера Шоттки. в равновесном и неравновесном состояниях.
23. Виды токов через контакт металла с полупроводником. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
24. Электронно-дырочный переход (*p-n* – переход). Возникновение потенциального барьера. Контактная разность потенциалов.
25. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии.
26. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в неравновесном состоянии при прямом смещении.
27. Анализ энергетической зонной диаграммы электронно-дырочного перехода в неравновесном состоянии при обратном смещении.
28. Ширина обедненного слоя электронно-дырочного перехода, ее зависимость от прямого и обратного смещения. Инжекция и экстракция неосновных носителей.
29. Барьерная и диффузионная емкости *p-n* перехода.
30. Виды токов через электронно-дырочный переход.
31. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального *p-n*-перехода.
32. Физические явления в гетеропереходах.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен)

5 семестр

Вопросы для подготовки к экзамену

1. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов. Особенности вольт-амперной характеристики реального диода при прямом и обратном смещениях.
2. Пробой *p-n* перехода и его механизмы. Виды пробоя *p-n* перехода: лавинный, туннельный, тепловой.
3. Разновидности полупроводниковых диодов. Классификации полупроводниковых диодов по протекающим физическим процессам и назначению.
4. Биполярный транзистор. Принцип действия, структура. Основные физические процессы в биполярных транзисторах.
5. Режимы работы биполярного транзистора. Энергетическая диаграмма транзистора

в равновесном состоянии.

6. Энергетическая зонная модель транзистора в активном режиме. Виды потоков носителей заряда. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе.
7. Дрейфовый биполярный транзистор. Физические процессы в базе, Коэффициент переноса неосновных носителей через базу.
8. Схемы включения биполярного транзистора, Отличительные особенности, применение.
9. Биполярный транзистор в схеме с общей базой. Основные параметры. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора в активном режиме при включении по схеме с общей базой.
10. Биполярный транзистор в схеме с общим эмиттером. Основные параметры. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора в активном режиме при включении по схеме с общим эмиттером.
11. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника.
12. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Зависимость емкости МДП-структуры от напряжения в режиме обеднения.
13. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы). Физические процессы в транзисторах.
14. Режимы работы МДП – структур, электрические характеристики. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
15. Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ переходом. Физические процессы в транзисторах. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.
16. Биполярные транзисторы с изолированным затвором Структура биполярного транзистора с изолированным затвором. Физические процессы, режимы работы, электрические характеристики.
17. Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению. Степень интеграции микросхем.
18. Конструктивно-технологические особенности и варианты интегральных биполярных и МПД – транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов. Биполярно – полевые структуры.
19. Интегральные транзисторные структуры специального назначения: многоэмиттерные транзисторы, многоколлекторные транзисторы, транзистор с барьером Шоттки.
20. Принципы технологии полупроводниковых микросхем. Базовые технологии изготовления биполярных интегральных схем.
21. Технология МДП микросхем. Особенности КМДП технологии.
22. Конструкторско-технологические проблемы интегральной микроэлектроники.
23. Трехмерная архитектура интегральных схем. Особенности и перспективы 3D технологии микросхем. Типы SD-микросборок.
24. Ограничения интегральной электроники по физическим и технологическим факторам. Типы носителей информационного сигнала в функциональной электронике. Основные направления функциональной электроники.
25. Оптоэлектроника. Люминесценция, виды, способы возбуждения.
26. Полупроводниковые излучатели. Светодиоды, лазеры. Основные процессы, параметры и характеристики.
27. Фоторезистивный эффект. Фотопроводимость. Ток, обусловленный фотопроводимостью. Вентильная фотоэлектродвижущая сила.
28. Фотодетекторы. Фотодиоды, фототранзисторы. Спектрально-энергетические характеристики фоточувствительности. Солнечные батареи.

29. Полупроводниковые гетероструктуры в оптоэлектронике.
30. Физические основы магнитоэлектроники. Основные направления развития магнитоэлектроники.
31. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Структура и основные характеристики магнитодиодов, биполярных и полевых магнитотранзисторов.
32. Ограничения развития микроэлектроники. Классификация низкоразмерных структур.
33. Материалы и структуры наноэлектроники.
34. Нанотранзисторные структуры (КНИ-транзисторы с ультратонким основанием, полевой транзистор с затвором Шоттки, гетероструктурные полевые транзисторы, транзисторы на квантовых точках, резонансном туннелировании и др.).
35. Физические основы, элементы и устройства одноэлектроники.
36. Физические основы и элементы молекулярной электроники.
37. Приборы квантовой электроники: лазеры и фотоприемники на структурах с квантовыми точками.
38. Наноэлектронные запоминающие устройства.
39. Физико-технологические принципы структур магнитонаноэлектроники. Устройства магнитонаноэлектроники.
40. Тенденции и перспективы развития микро – и наноэлектроники.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося

Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала, подготовку к защите лабораторных работ, выполнение расчётно-графической работы, подготовку к рейтинг - контролю.

Вопросы для самостоятельной работы

Раздел 1. Электропроводность полупроводников

[основная литература:1-3; дополнительная литература:1]

1. Энергетическая зонная модель металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Энергетическая зонная структура полупроводника с собственной проводимостью.
3. Функция распределения плотности состояний в зонах.
4. Распределение электронов по энергетическим состояниям (функции Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана).
5. Зависимость функции распределения электронов по энергетическим состояниям от температуры.
6. Концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике.
7. Энергетическая зонная структура примесного полупроводника.
8. Концентрация носителей заряда в невырожденных примесных полупроводниках.
9. Компенсированный полупроводник.
10. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках,
11. Зависимость длины свободного пробега электрона от температуры.
12. Подвижность носителей заряда.
13. Температурная зависимость подвижности.
14. Электропроводность полупроводников.
15. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.

Раздел 2. Токи в полупроводниках

[основная литература: 1-3; дополнительная литература:1]

1. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводниках.
2. Уравнение непрерывности для носителей заряда в полупроводниках.

3. Коэффициент диффузии электронов и дырок. Соотношение Эйнштейна.
4. Диффузионная длина для неосновных носителей.
5. Равновесные и неравновесные носители заряда.
6. Биполярная генерация носителей заряда.
7. Монополярная генерация носителей заряда.
8. Виды рекомбинации носителей заряда.
9. Скорость генерации и рекомбинации носителей заряда.
10. Время жизни носителей заряда.
11. Поверхностная рекомбинация

Раздел 3. Контактные явления в полупроводниках

[основная литература: 1-3; дополнительная литература:1]

1. Контакт металла с полупроводником. Контактная разность потенциалов.
2. Типы контактов металла с полупроводником и их зонные модели
3. Омический контакт металла с полупроводником.
4. Барьер Шоттки. Толщина области пространственного заряда контакта и ее зависимость от внешнего приложенного напряжения
5. Энергетические диаграммы барьера Шоттки в равновесном и неравновесном состояниях.
6. Виды токов через контакт металла с полупроводником. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
7. Электронно-дырочный переход в полупроводнике. Контактная разность потенциалов.
8. Энергетическая зонная диаграмма электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии.
9. Зонная модель электронно-дырочного перехода при прямом и обратном смещении.
10. Зависимость толщины области пространственного заряда p - n перехода от внешнего приложенного напряжения.
11. Барьерная и диффузионная емкости электронно-дырочного перехода.
12. Виды токов через электронно-дырочный переход. Вольт-амперная характеристика p - n перехода.

Раздел 4. Физические принципы работы полупроводниковых структур с электронно-дырочным переходом

[основная литература: 1-3; дополнительная литература:1]

1. Вольт-амперная характеристика идеального диода на основе p - n перехода.
2. Влияние генерации, рекомбинации и объемного сопротивления базы на характеристики реальных диодов.
3. Влияние генерации неравновесных носителей в области пространственного заряда p - n перехода на обратный ток диода.
4. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в области пространственного заряда p - n перехода на прямой ток диода
5. Пробой p - n перехода и его механизмы. Виды пробоя p - n перехода: лавинный, туннельный, тепловой.
6. Классификация полупроводниковых диодов по протекающим физическим процессам.
7. Классификация полупроводниковых диодов по назначению.
8. Принцип действия, структура, основные физические процессы в биполярных транзисторах.
9. Режимы работы биполярного транзистора.
10. Энергетическая зонная модель транзистора в активном режиме. Виды потоков носителей заряда.

11. Дрейфовый биполярный транзистор. Физические процессы в базе, основные параметры
12. Схемы включения биполярного транзистора, Отличительные особенности, применение.
13. Биполярный транзистор в схеме с общей базой. Зонная диаграмма и токи. Основные параметры. Входные и выходные характеристики транзистора в активном режиме.
14. Биполярный транзистор в схеме с общим эмиттером. Основные параметры. Входные и выходные характеристики транзистора в активном режиме.

Раздел 5 . Полупроводниковые элементы на структурах металл-диэлектрик-полупроводник

[основная литература: 1-3; дополнительная литература:1]

1. Физические процессы в структуре металл-диэлектрик-полупроводник
2. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры.
3. Физические процессы в полевых транзисторах с изолированным затвором.
4. Режимы работы МДП - структур и электрические характеристики.
5. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
6. Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ переходом. Режимы работы, параметры, вольт-амперные характеристики.
7. Биполярные транзисторы с изолированным затвором Структура, режимы работы, электрические характеристики.

Раздел 6. Физико-технологические особенности структур полупроводниковых интегральных микросхем

[основная литература: 1,3; дополнительная литература:2]

1. Классификация микросхем по конструктивно - техническому исполнению.
2. Конструктивное исполнение интегральных биполярных транзисторов,
3. Конструктивное исполнение интегральных МПД – транзисторов.
4. Биполярно – полевые структуры.
5. МДП – элементы полупроводниковых запоминающих устройств.
6. Трёхмерные конструкции элементов полупроводниковых микросхем.
7. Основные технологические операции в производстве микросхем.
8. Ограничения двумерных интегральных схем.
9. Трёхмерная архитектура интегральных схем.
10. Типы SD-микросборок.
11. Основные направления развития микроэлектронных технологий.

Раздел 7. Основы функциональной электроники

[основная литература: 2,5; дополнительная литература:3,5]

1. Физические принципы функциональной электроники.
2. Типы носителей информационного сигнала.
3. Основные направления функциональной электроники.
4. Физические основы оптоэлектроники.
5. Полупроводниковые излучатели. Основные процессы, параметры и характеристики.
6. Полупроводниковые фотоприёмники. Основные процессы, параметры и характеристики.
7. Основные направления развития фотоники.
8. Физические основы магнитоэлектроники.
9. Гальваномагнитные явления в полупроводниках.

10. Магнитодиоды, биполярные и полевые магнитотранзисторы.

Раздел 8. Основы нанoeлектроники

[основная литература: 4,5; дополнительная литература:4]

1. Классификация и кинетические свойства низкоразмерных структур.
2. Материалы и структуры нанoeлектроники.
3. Нанотранзисторные структуры
4. Физические основы, элементы и устройства одноэлектроники.
5. Физические основы и элементы молекулярной электроники.
6. Нанотехнологии в области запоминающих устройств.
7. Приборы квантовой электроники: лазеры и фотоприемники на структурах с квантовыми точками.
8. Физико-технологические принципы структур и устройства магнитонанoeлектроники.
9. Тенденции и перспективы развития микро – и нанoeлектроники.

Расчётно-графическая работа

4 семестр

Целью выполнения расчётно - графической работы является освоение методики расчета параметров, характеризующих электрофизические процессы в полупроводниках. Работа оформляется на листах формата А4 (MS WORD, Times New Roman, кегль 14; 1,5 интервала).

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
1	2	3
Основная литература		
1. Старосельский, В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. Учебное пособие для вузов/ В.И. Старосельский М.: Издательство Юрайт, 2015. - 467 с	2015	https://bookree.org/reader?file=716104

<p>2. Физика. Введение в твердотельную электронику [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Г. Захаров [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 107 с.</p>	<p>2018</p>	<p>https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/04/24/</p> <p>https://avidreaders.ru/read-book/fizika-vvedenie-v-tverdotelnuyu-elektroniku.html</p>
<p>3. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] / Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 312 с. - ISBN 978-5-9221-1379-3</p>	<p>2012</p>	<p>https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785922113793-SCN0000/000.html</p>
<p>4. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Зебрев Г.И.— Электрон. текстовые данные.— Москва: Лаборатория знаний, 2019.— 241 с</p>	<p>2019</p>	<p>https://obuchalka.org/2017102597034/fizicheskie-osnovi-kremnievoi-nanoelektoniki-zebrev-g-i-2011.html</p> <p>https://bookree.org/reader?file=1427836</p>
<p>5. Основы нано- и функциональной электроники/ Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов, — М.: Лань, 2013. — 320 с. - ISBN: 978-5-8114-1378-2</p>	<p>2013</p>	<p>https://knigifb2.org/obychenie/7174-yua-smirnov-i-dr-osnovy-nano-i-funkcionalnoy-elektroniki-2013-pdf.html</p>
<p>Дополнительная литература</p>		
<p>1. Авдеев С.П. Краткий обзор теории полупроводниковых структур [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Авдеев С.П.— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 118 с.</p>	<p>2018</p>	<p>https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927527212.html</p>
<p>2. Воротынцев В.М., Базовые технологии микро- и наноэлектроники / Воротынцев В. М., Скупов В. Д. - М.: Проспект, 2017. - 520 с. - ISBN 978-5-392-25297-8. -</p>	<p>2017</p>	<p>http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976519633.html.</p>
<p>3 Кондрашин А.А., Современные технологии</p>	<p>2019</p>	<p>https://www.technosphera.ru/files/book_pdf/0/book_536_155.pdf</p>

изготовления трехмерных электронных устройств: Учеб. пособие / Кондрашин А.А., Лямин А.Н., Слепцов В.В. Изд-е 2-е, испр. и доп. - М : Техносфера, 2019. - 210 с. - ISBN 978-5-94836-504-6.		
4. Игнатов, А.Н. Наноэлектроника. Состояние и перспективы развития: учеб. пособие / А.Н. Игнатов. — 2-е изд., стер. — Москва: ФЛИНТА, 2017. — 360 с. - ISBN 978-5-9765-1619-9.	2017	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=462120

6.2. Периодические издания

1. Журнал «Известия вузов: электроника» (Электронная библиотека ВлГУ).
2. Журнал «Нано - и микросистемная техника» (Библиотека ВлГУ).
3. Журнал «Микроэлектроника».
4. Журнал «Физика и техника полупроводников».
5. Журнал «Журнал технической физики»

6.3. Интернет-ресурсы

1. <https://vlsu.bibliotech.ru>
2. www.bibliorossica.com
3. www.studentlibrary.ru
4. www.e.lanbook.com
5. www.ZNANIUM.COM
6. www.iprbookshop.ru Современная профессиональная база данных.
7. www.academia-moscow.ru Современная профессиональная база данных.
8. www.pogmacs.ru Информационная справочная система.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе 330-3 и лаборатории 328-3, оборудованной стендами для выполнения экспериментальных работ.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS Office.

Рабочую программу составила доцент Фролова Т.Н. Фролова

Рецензент

(представитель работодателя),

заместитель главного инженера по подготовке производства

– главный технолог ОАО «Владимирский завод «Электроприбор»,

Зайцев М.К. 

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Биомедицинские и электронные системы и технологии"

Протокол № 1 от 30.08. 2019 года

Заведующий кафедрой Сушкова Л.Т. 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической

комиссии направления 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Протокол № 1 от 30.08. 2019 года

Председатель комиссии Сушкова Л.Т. 

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ
в рабочую программу дисциплины
«Физические основы микро – и наноэлектроники»
образовательной программы направления подготовки
11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств",
направленность: бакалавриат

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата распорядительного документа о внесении изменения)
1			
2			

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Биомедицинские и электронные системы и технологии", протокол №__ от __. __202__ г.
Зав. кафедрой _____ / _____

Подпись

ФИО