

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Максимов Алексей Борисович

Должность: директор департамента по образовательной политике

Дата подписания: 12.10.2026 16:48:36

Уникальный идентификатор:

8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

«Информационных технологий»



 / Д.Г. Демидов /

« 26 » февраль 2026 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физические основы электроники**

Направление подготовки

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль подготовки (образовательная программа)

«Информационные системы умных пространств»

Год начала обучения:

2026

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Москва – 2026

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО и учебного плана Московского политехнического университета по направлению (специальности) 09.03.01 Информатики и вычислительная техника, по профилю подготовки Информационные системы умных пространств.

Разработчик(и):

к. ф.-м. н., доцент кафедры



/ Т.Т. Идиатуллов /

Согласовано:

Заведующий кафедрой
«СМАРТ-технологии»,
к.т.н., доцент



/ Е.В. Петрунина /

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Структура и содержание дисциплины
 - 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
 - 3.2 Тематический план изучения дисциплины (по формам обучения)
 - 3.3 Содержание дисциплины
 - 3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий
 - 3.5 Тематика вопросов для самостоятельного изучения
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение
 - 4.1 Нормативные документы и ГОСТы
 - 4.2. Основная литература
 - 4.3 Дополнительная литература
 - 4.4 Электронные образовательные ресурсы
 - 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение
 - 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы
- 5 Материально-техническое обеспечение
- 6 Методические рекомендации
 - 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения
 - 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
 - 6.3 Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
- 7 Фонд оценочных средств
 - 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения
 - 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения
- Приложение 1
- Приложение 2

1 Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Физические основы электроники» следует отнести:

- формирование у обучающихся представления о физических явлениях, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов и изделий электронной техники;
- ознакомление обучающихся с принципами действия, характеристиками и параметрами основных классов электронных приборов, применяемых в аппаратных средствах информационных систем;
- формирование навыков расчета параметров и характеристик полупроводниковых приборов, а также обоснованного выбора элементной базы при решении задач профессиональной деятельности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений.

К основным задачам освоения дисциплины «Физические основы электроники» следует отнести:

- изучение элементов зонной теории твердого тела и электрофизических свойств проводников, полупроводников и диэлектриков;
- изучение статистики носителей заряда в полупроводниках, механизмов их переноса, генерации и рекомбинации;
- изучение физических процессов в электронно-дырочном переходе и в контактах металл — полупроводник;
- изучение принципов действия, характеристик и параметров полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов;
- изучение физических основ оптоэлектронных приборов и полупроводниковых датчиков, применяемых в системах интеллектуализации пространств;
- изучение физических основ построения интегральных микросхем, источников шумов, тепловых режимов и факторов, определяющих надежность электронных приборов;
- приобретение навыков расчета параметров полупроводниковых приборов и анализа их характеристик, в том числе с применением программных средств моделирования;
- приобретение навыков работы со справочной и нормативной документацией на изделия электронной техники при выборе элементной базы в условиях заданных ограничений.

Обучение по дисциплине «Физические основы электроники» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	ИУК-2.1. Знает виды ресурсов и ограничений, учитываемых при решении задач выбора элементной базы, методы оценки альтернативных технических решений, а также действующие стандарты и нормативные документы на изделия электронной техники. ИУК-2.2. Умеет декомпозировать поставленную цель на совокупность частных задач, формулировать требования к электронным компонентам и сопоставлять альтернативные варианты их реализации с учетом технических, стоимостных и эксплуатационных ограничений. ИУК-2.3. Владеет навыками обоснованного выбора технического решения на основе расчетов и данных справочной документации, а также навыками оформления результатов сопоставления вариантов.
ПК-4. Способен разрабатывать программное обеспечение для интеллектуализации пространств	ИПК-4.1. Знает физические принципы работы полупроводниковых приборов, датчиков и исполнительных элементов, входящих в состав аппаратных средств систем интеллектуализации пространств, и их характеристики, определяющие требования к программному обеспечению. ИПК-4.2. Умеет учитывать физические характеристики и ограничения элементной базы (нелинейность, температурную зависимость, инерционность, уровень шумов) при разработке алгоритмов сбора и обработки данных. ИПК-4.3. Владеет навыками разработки алгоритмов обработки сигналов датчиков с учетом их физических свойств, включая калибровку, температурную компенсацию и фильтрацию результатов измерений.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физические основы электроники» относится к числу профессиональных учебных дисциплин базового цикла (Б1.1) основной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», профиль

«Информационные системы умных пространств» - часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные в предшествующих дисциплинах: «Физика», «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Химия», «Основы информационно-коммуникационных технологий».

Дисциплина обеспечивает изучение дисциплин «Электроника и схемотехника», «Программирование микроконтроллеров», «Архитектура вычислительных систем», «Промышленная автоматизация и интернет вещей», «Информационные системы умных пространств», а также выполнение выпускной квалификационной работы в части обоснования выбора аппаратных средств.

3 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, т.е. 108 академических часов, из них аудиторных — 36 часов, самостоятельная работа обучающихся — 72 часа. Форма промежуточной аттестации — зачет в 3 семестре.

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по очной форме обучения)

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестр 3
1	Аудиторные занятия	36	36
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	18	18
1.3	Лабораторные занятия	—	—
2	Самостоятельная работа	72	72
3	Промежуточная аттестация	зачет	зачет
	Итого:	108	108

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по очной форме обучения)

№ п/ п	Разделы/темы дисциплины	Всего , час.	Лекции	Практически е занятия	Самостоятельна я работа
1	Тема 1. Элементы зонной теории твердого тела. Проводники, полупроводники, диэлектрики	12	2	2	8
2	Тема 2. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей заряда	12	2	2	8
3	Тема 3. Явления переноса. Генерация и рекомбинация носителей заряда	12	2	2	8
4	Тема 4. Электронно-дырочный переход и его свойства	12	2	2	8
5	Тема 5. Полупроводниковые диоды. Контакт металл — полупроводник	12	2	2	8
6	Тема 6. Биполярные транзисторы	12	2	2	8
7	Тема 7. Полевые транзисторы и структуры металл — диэлектрик — полупроводник	12	2	2	8
8	Тема 8. Фотоэлектрические явления. Оптоэлектронные приборы и	12	2	2	8

№ п/ п	Разделы/темы дисциплины	Всего , час.	Лекци и	Практически е занятия	Самостоятельна я работа
	полупроводниковы е датчики				
9	Тема 9. Физические основы интегральных микросхем. Шумы, тепловые режимы и надежность	12	2	2	8
	Итого	108	18	18	72

3.3 Содержание дисциплины

3.3.1 Содержание лекционных занятий (18 часов)

Тема 1. Элементы зонной теории твердого тела. Проводники, полупроводники, диэлектрики (2 ч)

Предмет и задачи физических основ электроники, место дисциплины в подготовке специалиста в области информатики и вычислительной техники. Строение вещества и типы химических связей в твердых телах. Кристаллическая решетка, элементарная ячейка, дефекты кристаллической структуры. Основные положения квантовой механики, применяемые при описании электронных свойств твердых тел: волновая функция, дискретность уровней энергии, принцип Паули. Образование энергетических зон при сближении атомов. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона. Заполнение зон электронами и классификация твердых тел по ширине запрещенной зоны: проводники, полупроводники, диэлектрики. Эффективная масса носителей заряда. Понятие дырки. Основные полупроводниковые материалы: кремний, германий, арсенид галлия, карбид кремния, нитрид галлия; их сравнительные характеристики и области применения. Влияние ширины запрещенной зоны на рабочую температуру и предельные параметры приборов.

Тема 2. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей заряда (2 ч)

Собственный полупроводник: механизм собственной проводимости, равенство концентраций электронов и дырок, зависимость собственной концентрации от температуры и ширины запрещенной зоны. Примесные полупроводники: донорные и акцепторные примеси, механизм образования

электронного и дырочного типов проводимости, основные и неосновные носители заряда. Энергетические уровни примесей в запрещенной зоне, энергия ионизации примеси. Статистика носителей заряда: распределение Ферми — Дирака, уровень Ферми и его физический смысл. Положение уровня Ферми в собственном и примесных полупроводниках, его зависимость от концентрации примеси и температуры. Расчет концентраций электронов и дырок, закон действующих масс. Эффективные плотности состояний. Температурные диапазоны работы примесного полупроводника: область ионизации примеси, область истощения примеси, область собственной проводимости. Компенсированные и вырожденные полупроводники.

Тема 3. Явления переноса. Генерация и рекомбинация носителей заряда (2 ч)

Механизмы движения носителей заряда в полупроводнике. Дрейф носителей в электрическом поле: дрейфовая скорость, подвижность, зависимость подвижности от температуры и концентрации примеси, механизмы рассеяния носителей. Насыщение дрейфовой скорости в сильных полях. Удельная проводимость и удельное сопротивление полупроводника, их температурная зависимость. Диффузия носителей заряда: диффузионный ток, коэффициент диффузии, соотношение Эйнштейна. Полный ток в полупроводнике. Равновесные и неравновесные носители заряда, способы их создания. Генерация и рекомбинация: межзонная рекомбинация, рекомбинация через локальные центры, поверхностная рекомбинация. Время жизни неравновесных носителей, диффузионная длина. Уравнение непрерывности. Явления на поверхности полупроводника. Эффект Холла и его применение в датчиках. Термоэлектрические и термоэлектронные явления.

Тема 4. Электронно-дырочный переход и его свойства (2 ч)

Образование электронно-дырочного перехода при контакте областей с различным типом проводимости. Диффузия основных носителей, образование области пространственного заряда, потенциальный барьер и контактная разность потенциалов. Энергетическая диаграмма перехода в равновесном состоянии. Резкий и плавный переходы, симметричные и несимметричные переходы. Расчет ширины области пространственного заряда и напряженности электрического поля. Прямое и обратное смещение перехода: изменение высоты барьера, инжекция и экстракция носителей. Вывод вольт-амперной характеристики идеализированного перехода, ток насыщения, температурная зависимость характеристики. Отклонения реальных

характеристик от идеализированных: сопротивление базы, генерация и рекомбинация в области пространственного заряда, поверхностные токи утечки. Емкости перехода: барьерная и диффузионная, их зависимость от напряжения. Виды пробоя: лавинный, туннельный, тепловой; их отличительные признаки и температурные зависимости. Переходные процессы при переключении перехода.

Тема 5. Полупроводниковые диоды. Контакт металл — полупроводник (2 ч)

Контакт металл — полупроводник: работа выхода, образование выпрямляющего барьера Шоттки и омического контакта. Особенности переноса заряда в диоде Шоттки, отсутствие накопления неосновных носителей и высокое быстродействие. Требования к омическим контактам. Гетеропереходы и их особенности. Классификация полупроводниковых диодов. Выпрямительные диоды: параметры, предельно допустимые режимы, применение в схемах выпрямления. Импульсные и высокочастотные диоды, время восстановления обратного сопротивления. Стабилитроны: принцип действия, рабочий участок характеристики, температурный коэффициент напряжения стабилизации, схема параметрического стабилизатора. Варикапы: зависимость барьерной емкости от напряжения, коэффициент перекрытия. Туннельные диоды и участок отрицательного дифференциального сопротивления. Диоды специального назначения. Условные графические обозначения, система обозначений и маркировка диодов. Работа со справочными данными на диоды.

Тема 6. Биполярные транзисторы (2 ч)

Структура биполярного транзистора, назначение эмиттера, базы и коллектора, требования к их параметрам. Физические процессы в транзисторе в активном режиме: инжекция носителей из эмиттера, перенос через базу, экстракция коллектором. Коэффициент инжекции, коэффициент переноса, коэффициент передачи тока. Соотношения между токами электродов. Режимы работы транзистора: активный, отсечки, насыщения, инверсный. Схемы включения: с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором; их сравнительные свойства. Статические характеристики: входные и выходные, семейства характеристик, области допустимых режимов. Эффект Эрли. Дифференциальные параметры и системы малосигнальных параметров, эквивалентные схемы. Частотные свойства транзистора: предельная частота, граничная частота, время задержки. Тепловой режим и тепловой пробой, вторичный пробой. Работа транзистора в ключевом режиме, время включения

и выключения. Система обозначений и справочные параметры биполярных транзисторов.

Тема 7. Полевые транзисторы и структуры металл — диэлектрик — полупроводник (2 ч)

Принцип управления током при помощи электрического поля. Полевой транзистор с управляющим электронно-дырочным переходом: структура, физика работы, напряжение отсечки, крутизна характеристики, области крутого и пологого участков. Структура металл — диэлектрик — полупроводник: энергетическая диаграмма, режимы обогащения, обеднения и инверсии, пороговое напряжение, влияние заряда в диэлектрике и на границе раздела. Транзисторы со встроенным и индуцированным каналом, с каналом *n*- и *p*-типа. Стокозатворные и стоковые характеристики, крутизна, выходное сопротивление, влияние подложки. Емкости полевого транзистора и их влияние на быстродействие. Работа полевого транзистора в ключевом режиме, сопротивление открытого канала. Комплементарные структуры как основа современной цифровой схемотехники, статическое и динамическое потребление энергии. Мощные полевые транзисторы. Масштабирование транзисторных структур, короткоканальные эффекты, современные технологические нормы. Сравнение биполярных и полевых транзисторов. Чувствительность к статическому электричеству и меры защиты.

Тема 8. Фотоэлектрические явления. Оптоэлектронные приборы и полупроводниковые датчики (2 ч)

Взаимодействие оптического излучения с полупроводником: собственное и примесное поглощение, красная граница фотоэффекта, глубина поглощения. Внутренний фотоэффект и фотопроводимость. Фоторезисторы: характеристики, инерционность, области применения. Фотогальванический эффект в электронно-дырочном переходе. Фотодиоды: режимы фотогальванический и фотодиодный, спектральная и световая характеристики, чувствительность, темновой ток, быстродействие. Лавинные фотодиоды и фототранзисторы. Солнечные элементы: принцип действия и коэффициент полезного действия. Излучательная рекомбинация и светодиоды: спектр излучения, вольт-амперная характеристика, световая отдача, деградация. Полупроводниковые лазеры (обзорно). Оптроны и оптическая развязка сигналов. Приборы с зарядовой связью и КМОП-фотоприемники как основа систем технического зрения. Полупроводниковые датчики физических величин: температуры, давления, магнитного поля, освещенности, газового состава; их физические принципы, характеристики,

погрешности, температурная зависимость и инерционность. Особенности применения датчиков в системах интеллектуализации пространств и требования, предъявляемые к обработке их сигналов.

Тема 9. Физические основы интегральных микросхем. Шумы, тепловые режимы и надежность (2 ч)

Интегральная микросхема: понятие, классификация по технологии изготовления и степени интеграции. Основные технологические процессы: получение монокристаллического кремния, эпитаксия, окисление, фотолитография, легирование методами диффузии и ионной имплантации, металлизация. Элементы интегральных схем и способы их изоляции. Физические основы элементов памяти: статическая и динамическая память, энергонезависимая память с плавающим затвором, принцип хранения и деградация заряда. Ограничения дальнейшего повышения степени интеграции. Шумы в полупроводниковых приборах: тепловой шум, дробовой шум, фликкер-шум; их спектральные характеристики, отношение сигнал/шум и влияние на предельную разрешающую способность измерительных каналов. Тепловые режимы приборов: рассеиваемая мощность, тепловое сопротивление, расчет температуры перехода, способы отвода тепла. Влияние температуры на параметры приборов и необходимость температурной компенсации. Надежность изделий электронной техники: интенсивность отказов, механизмы деградации, влияние электрических и климатических факторов, воздействие статического электричества и ионизирующего излучения. Перспективные направления: приборы на широкозонных полупроводниках, микроэлектромеханические системы, гибкая и печатная электроника, элементная база устройств Интернета вещей.

3.3.2 Содержание практических занятий (18 часов)

Практическое занятие № 1. Расчет параметров кристаллической структуры и зонных диаграмм (2 ч)

Решение задач на определение параметров кристаллической решетки и концентрации атомов в полупроводниковых материалах. Построение и анализ энергетических зонных диаграмм проводников, полупроводников и диэлектриков. Сопоставление свойств полупроводниковых материалов по ширине запрещенной зоны и оценка предельной рабочей температуры приборов на их основе.

Практическое занятие № 2. Расчет концентрации носителей заряда и положения уровня Ферми (2 ч)

Решение задач на определение собственной концентрации носителей заряда при заданной температуре. Расчет концентраций электронов и дырок в примесных полупроводниках с применением закона действующих масс. Определение положения уровня Ферми в собственном и примесных полупроводниках, построение его зависимости от температуры и концентрации легирующей примеси.

Практическое занятие № 3. Расчет процессов переноса носителей заряда (2 ч)

Расчет удельной проводимости и удельного сопротивления полупроводника при заданном уровне легирования. Определение дрейфовой и диффузионной составляющих тока с применением соотношения Эйнштейна. Расчет времени жизни и диффузионной длины неравновесных носителей заряда. Решение задач на определение параметров датчика Холла.

Практическое занятие № 4. Расчет параметров электронно-дырочного перехода (2 ч)

Расчет контактной разности потенциалов, ширины области пространственного заряда и напряженности поля в переходе при различных смещениях. Расчет барьерной и диффузионной емкостей. Построение вольт-амперной характеристики перехода и анализ ее температурной зависимости. Определение вида пробоя по заданным параметрам структуры и температурному коэффициенту напряжения пробоя.

Практическое занятие № 5. Расчет схем на полупроводниковых диодах (2 ч)

Определение статического и дифференциального сопротивления диода по вольт-амперной характеристике. Графоаналитический расчет рабочей точки диода в цепи с нагрузкой. Расчет параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне с проверкой режима по предельно допустимым параметрам. Расчет схемы с варикапом. Выбор диода по справочным данным исходя из заданных требований и ограничений.

Практическое занятие № 6. Расчет режимов работы биполярного транзистора (2 ч)

Расчет токов электродов и коэффициентов передачи тока для различных схем включения. Графоаналитический расчет рабочей точки по постоянному току, построение нагрузочной прямой, определение режима работы транзистора. Расчет параметров транзистора в ключевом режиме, проверка

условия насыщения. Оценка рассеиваемой мощности и проверка соответствия области допустимых режимов.

Практическое занятие № 7. Расчет режимов работы полевого транзистора (2 ч)

Расчет тока стока и крутизны характеристики полевого транзистора при заданном напряжении на затворе. Графоаналитическое определение рабочей точки. Расчет ключевого каскада на полевом транзисторе: сопротивления открытого канала, потерь мощности при коммутации и статических потерь. Сопоставление биполярного и полевого транзисторов для заданной задачи коммутации нагрузки.

Практическое занятие № 8. Расчет параметров оптоэлектронных приборов и датчиков (2 ч)

Расчет параметров схемы включения светодиода, определение токоограничивающего резистора и рассеиваемой мощности. Расчет чувствительности и режима работы фотодиода, оценка отношения сигнал/шум измерительного канала. Расчет измерительной схемы с терморезистором или полупроводниковым датчиком температуры, определение погрешности измерения и параметров температурной компенсации, обоснование требований к алгоритму обработки результатов измерений.

Практическое занятие № 9. Расчет теплового режима и обоснование выбора элементной базы (2 ч)

Расчет температуры перехода полупроводникового прибора по рассеиваемой мощности и тепловым сопротивлениям, выбор теплоотвода. Оценка интенсивности отказов и влияния температуры на надежность прибора. Выполнение итогового комплексного задания: формулирование частных задач в рамках заданной цели, сопоставление альтернативных вариантов элементной базы по техническим, стоимостным и эксплуатационным критериям с использованием справочной документации, обоснование выбора и оформление результатов сопоставления.

3.3.3 Содержание самостоятельной работы обучающихся (72 часа)

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды деятельности:

- проработка конспектов лекций и изучение разделов дисциплины, вынесенных на самостоятельное изучение, по рекомендованной литературе и электронным образовательным ресурсам;

- изучение справочной документации на изделия электронной техники и нормативных документов, устанавливающих термины, определения и системы параметров полупроводниковых приборов;
- подготовка к практическим занятиям и защите выполненных расчетных заданий, оформление отчетов;
- решение задач по расчету параметров полупроводниковых материалов, переходов и приборов;
- выполнение индивидуального расчетно-графического задания по построению и анализу характеристик заданного полупроводникового прибора;
- выполнение индивидуального задания по обоснованному выбору элементной базы для заданного узла с учетом технических и стоимостных ограничений;
- моделирование характеристик полупроводниковых приборов с применением программных средств схемотехнического моделирования;
- подготовка обзора (реферата) по одному из направлений развития элементной базы электроники;
- подготовка к тестированию и к зачету.

4 Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
2. Приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 № 929 (ред. от 08.02.2021) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника» (Зарегистрировано в Минюсте России 10 октября 2017 г. № 48489).
3. Академический учебный план. Направление подготовки: 09.03.01 Информатика и вычислительная техника. Профиль: Информационные системы умных пространств. Форма обучения: очная.
4. Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»

(утверждено приказом Московского Политеха от 01.12.2022 № 1375ОД).

5. ГОСТ 15133-77. Приборы полупроводниковые. Термины и определения.
6. ГОСТ 25529-82. Диоды полупроводниковые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
7. ГОСТ 20003-74. Транзисторы биполярные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
8. ГОСТ 19095-73. Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
9. ГОСТ 17021-88. Микросхемы интегральные. Термины и определения.
10. ГОСТ 2.730-73. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
11. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем.
12. ГОСТ Р МЭК 61340-5-1-2019. Электростатика. Часть 5-1. Защита электронных устройств от электростатических явлений. Общие требования.

4.2 Основная литература

1. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 9-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2009. — 480 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
2. Гуртов, В. А. Твердотельная электроника : учебное пособие / В. А. Гуртов. — 3-е изд. — Москва : Техносфера, 2008. — 512 с.
3. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие / И. П. Степаненко. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория базовых знаний, 2004. — 488 с.
4. Ефимов, И. Е. Основы микроэлектроники : учебник / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2008. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
5. Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника : учебное пособие / А. Н. Игнатов, Н. Е. Фадеева, В. Л. Савиных. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 728 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>

4.3 Дополнительная литература

1. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов : в 2 книгах / С. Зи ; пер. с англ. — 2-е изд. — Москва : Мир, 1984. — 456 с., 456 с.
2. Бонч-Бруевич, В. Л. Физика полупроводников : учебное пособие / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. — 2-е изд. — Москва : Наука, 1990. — 688 с.
3. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 400 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
4. Опадчий, Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника : учебник для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2007. — 768 с.
5. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника : в 2 томах / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. — 12-е изд. — Москва : ДМК Пресс, 2008. — 832 с., 942 с.
6. Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 544 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
7. Викулин, И. М. Физика полупроводниковых приборов / И. М. Викулин, В. И. Стафеев. — 2-е изд. — Москва : Радио и связь, 1990. — 264 с.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Курс в ЛМС Московского политехнического университета. — <https://lms.mospolytech.ru/>
2. Официальный интернет-портал национальных стандартов Российской Федерации. — <https://protect.gost.ru/>
3. Справочные данные и техническая документация производителей изделий электронной техники.
4. Документация системы схемотехнического моделирования LTspice. — <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
5. Документация системы схемотехнического моделирования Qucs-S. — <https://ra3xdh.github.io/>
6. Документация системы моделирования электронных схем NGSPICE. — <https://ngspice.sourceforge.io/docs.html>
7. Документация системы автоматизированного проектирования Delta Design. — <https://www.eremex.ru/products/delta-design/>
8. Единый реестр российской радиоэлектронной продукции. — <https://gisp.gov.ru/>

9. Электронно-библиотечная система «Лань». — <https://e.lanbook.com/>
10. Электронно-библиотечная система «Юрайт». — <https://urait.ru/>

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Операционная система Windows 10 (или выше) — Microsoft Open License.
2. Офисные приложения Microsoft Office 2016 (или выше) — Microsoft Open License.
3. Офисный пакет LibreOffice — свободно распространяемое ПО (лицензия MPL).
4. Система схемотехнического моделирования LTspice — свободно распространяемое ПО (бесплатная лицензия).
5. Система схемотехнического моделирования Qucs-S — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
6. Система моделирования электронных схем NGSPICE — свободно распространяемое ПО (лицензия BSD).
7. Система автоматизированного проектирования Delta Design (учебная редакция) — отечественное программное обеспечение.
8. Система автоматизированного проектирования печатных плат KiCad — свободно распространяемое ПО (лицензия GPL).
9. Интерпретатор языка программирования Python с библиотеками NumPy, SciPy, Matplotlib — свободно распространяемое ПО.
10. Система компьютерной алгебры SMath Studio (или Scilab) — свободно распространяемое ПО.

5 Материально-техническое обеспечение

Для проведения всех видов занятий необходимо презентационное оборудование (мультимедийный проектор, компьютер, экран) — 1 комплект.

Для проведения практических занятий необходима учебная аудитория, оснащенная посадочными местами по числу обучающихся, маркерной или меловой доской, а также следующим материально-техническим обеспечением:

- персональные компьютеры с установленным программным обеспечением схемотехнического моделирования и расчетов — из расчета одно рабочее место на одного обучающегося (или доступ к компьютерному классу при выполнении расчетных заданий с применением программных средств);

- демонстрационные образцы и наборы полупроводниковых приборов: диодов, транзисторов, оптоэлектронных приборов, интегральных микросхем в различных типах корпусов;
- демонстрационные образцы полупроводниковых датчиков физических величин, применяемых в системах интеллектуализации пространств;
- комплекты справочных материалов и справочной документации на изделия электронной техники;
- плакаты, демонстрационные материалы и презентации по темам дисциплины;
- локальная вычислительная сеть с доступом к сети Интернет;
- доступ к электронной информационно-образовательной среде университета и электронно-библиотечным системам.

6 Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

При подготовке к занятиям следует предварительно проработать материал занятия, предусмотрев его подачу точно в отведенное для этого время занятия. Следует подготовить необходимые материалы — теоретические сведения, энергетические диаграммы и графические иллюстрации физических процессов, наборы расчетных задач различного уровня сложности, справочные данные на приборы, а также заранее проверить работоспособность программных средств моделирования.

При проведении занятия следует контролировать подачу материала и решение заданий с учетом учебного времени, отведенного для занятия. Практические занятия целесообразно строить по схеме: краткий разбор расчетных соотношений и типового примера, самостоятельное решение задач обучающимися, обсуждение полученных результатов и их физической интерпретации. Особое внимание следует уделять связи изучаемых физических явлений с параметрами реальных приборов, приводимыми в справочной документации, а также с задачами обработки сигналов датчиков в системах интеллектуализации пространств.

Итоговое задание практического занятия № 9 целесообразно организовать как самостоятельное решение обучающимся задачи выбора элементной базы: от декомпозиции поставленной цели на частные задачи и формулирования критериев до сопоставления вариантов и обоснования выбора с учетом требований нормативной документации. При проверке работ

следует учитывать не только правильность вычислений, но и корректность применения расчетных соотношений и допущений, соблюдение размерностей, физическую обоснованность полученных значений и качество обоснования принятых решений.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины осуществляется в строгом соответствии с целевой установкой в тесной взаимосвязи с учебным планом. Основой теоретической подготовки обучающихся являются лекции.

В процессе самостоятельной работы обучающиеся закрепляют и углубляют знания, полученные во время аудиторных занятий, дорабатывают конспекты лекций, изучают справочную документацию на изделия электронной техники, решают расчетные задачи, готовятся к практическим занятиям и к зачету, а также самостоятельно изучают отдельные темы учебной программы.

Особое внимание при подготовке следует уделять пониманию физического смысла изучаемых явлений и умению объяснять на их основе вид характеристик приборов и зависимость параметров от температуры и режима работы. При решении задач следует контролировать размерности величин и оценивать правдоподобность полученных результатов. Полезно сопоставлять расчетные значения с данными справочной документации на реальные приборы и проверять полученные характеристики средствами схемотехнического моделирования.

7 Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы обучающихся, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации:

- подготовка к решению прикладных задач;
- решение расчетных задач на практических занятиях и защита полученных результатов;
- выполнение индивидуального расчетно-графического задания;
- выполнение индивидуального задания по обоснованию выбора элементной базы;
- подготовка домашних работ и их защита;
- подготовка обзора (реферата) по направлениям развития элементной базы электроники;

- тест;
- зачет.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.

ПК-4. Способен разрабатывать программное обеспечение для интеллектуализации пространств.

Показатель	не зачтено	зачтено
знать: элементы зонной теории твердого тела, статистику и механизмы переноса носителей заряда, физические процессы в электронно-дырочном переходе, принципы действия и характеристики диодов, транзисторов, оптоэлектронных приборов и датчиков, а также нормативные документы на изделия электронной техники	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие указанных знаний, допускаются значительные ошибки, освещена менее чем половина материала	Обучающийся демонстрирует соответствие указанных знаний, освещена основная, наиболее важная часть материала, допускаемые несущественные ошибки и неточности не искажают существа излагаемых вопросов
уметь: рассчитывать параметры полупроводниковых материалов, переходов и приборов, анализировать их характеристики, декомпозировать поставленную цель на частные задачи и сопоставлять альтернативные варианты элементной базы с учетом технических и стоимостных ограничений	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет выполнять указанные действия, испытывает значительные затруднения при решении типовых расчетных задач	Обучающийся умеет выполнять указанные действия, самостоятельно решает типовые расчетные задачи и обосновывает выбор варианта, допускаемые незначительные ошибки не искажают полученного результата
владеть: навыками работы со справочной и нормативной документацией на изделия электронной техники, навыками обоснования выбора элементной базы, а также навыками учета физических характеристик датчиков при	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет указанными навыками, не выполнены или не защищены индивидуальные задания	Обучающийся владеет указанными навыками в объеме, достаточном для решения задач профессиональной деятельности, все индивидуальные задания выполнены и защищены

Показатель	не зачтено	зачтено
разработке алгоритмов обработки их сигналов		

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю), методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

Шкала оценивания	Описание
зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями и навыками, применяет их при решении типовых расчетных задач и при обосновании выбора элементной базы. Расчетные задания практических занятий и индивидуальные задания выполнены и защищены. Допускаются несущественные ошибки и неточности, не искажающие существа излагаемых вопросов. Присутствовал более чем на ½ занятий по дисциплине.
не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Список вопросов для зачета

1. Предмет и задачи физических основ электроники. Место дисциплины в подготовке специалиста.
2. Строение твердых тел. Кристаллическая решетка и дефекты кристаллической структуры.
3. Образование энергетических зон в кристалле. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона.
4. Классификация твердых тел по зонной структуре: проводники, полупроводники, диэлектрики.
5. Эффективная масса носителей заряда. Понятие дырки.
6. Основные полупроводниковые материалы и их сравнительные характеристики.
7. Собственный полупроводник. Зависимость собственной концентрации носителей от температуры.
8. Донорные и акцепторные примеси. Полупроводники n- и p-типа. Основные и неосновные носители.
9. Распределение Ферми — Дирака. Уровень Ферми и его физический смысл.
10. Положение уровня Ферми в собственном и примесных полупроводниках.
11. Закон действующих масс. Расчет концентраций электронов и дырок.
12. Температурные области работы примесного полупроводника.
13. Дрейф носителей заряда. Подвижность и механизмы рассеяния.
14. Удельная проводимость полупроводника и ее температурная зависимость.
15. Диффузия носителей заряда. Соотношение Эйнштейна.
16. Равновесные и неравновесные носители заряда. Генерация и рекомбинация.
17. Время жизни и диффузионная длина неравновесных носителей.
18. Эффект Холла и его применение в датчиках.
19. Образование электронно-дырочного перехода. Контактная разность потенциалов.
20. Область пространственного заряда: ширина, распределение поля, влияние легирования.
21. Прямое и обратное смещение перехода. Инжекция и экстракция носителей.

22. Вольт-амперная характеристика идеализированного перехода и ее температурная зависимость.
23. Отличия реальных характеристик перехода от идеализированных.
24. Барьерная и диффузионная емкости перехода.
25. Виды пробоя перехода и их отличительные признаки.
26. Контакт металл — полупроводник. Барьер Шоттки и омический контакт.
27. Диоды Шоттки: особенности и области применения.
28. Классификация полупроводниковых диодов. Параметры выпрямительных диодов.
29. Стабилитрон: принцип действия, параметры, схема параметрического стабилизатора.
30. Варикапы и туннельные диоды.
31. Система обозначений полупроводниковых приборов и работа со справочной документацией.
32. Структура биполярного транзистора. Физические процессы в активном режиме.
33. Коэффициенты инжекции, переноса и передачи тока. Соотношения между токами электродов.
34. Режимы работы биполярного транзистора.
35. Схемы включения биполярного транзистора и их сравнительная характеристика.
36. Статические характеристики биполярного транзистора. Эффект Эрли.
37. Частотные свойства биполярного транзистора.
38. Работа биполярного транзистора в ключевом режиме.
39. Полевой транзистор с управляющим переходом: структура и характеристики.
40. Структура металл — диэлектрик — полупроводник. Режимы обогащения, обеднения и инверсии.
41. Пороговое напряжение и характеристики МДП-транзистора.
42. Транзисторы со встроенным и индуцированным каналом.
43. Комплементарные структуры. Статическое и динамическое потребление энергии.
44. Масштабирование транзисторных структур и короткоканальные эффекты.
45. Сравнение биполярных и полевых транзисторов. Защита от статического электричества.

46. Поглощение оптического излучения в полупроводнике. Внутренний фотоэффект.
47. Фоторезисторы: характеристики и области применения.
48. Фотодиоды: режимы работы, характеристики, чувствительность и быстродействие.
49. Светодиоды: принцип действия, характеристики, световая отдача.
50. Оптроны и оптическая развязка сигналов.
51. Полупроводниковые датчики физических величин: принципы действия и характеристики.
52. Погрешности, температурная зависимость и инерционность датчиков; требования к обработке их сигналов.
53. Интегральные микросхемы: классификация и основные технологические процессы изготовления.
54. Физические основы элементов полупроводниковой памяти.
55. Шумы в полупроводниковых приборах и их влияние на разрешающую способность измерительного канала.
56. Тепловой режим полупроводникового прибора. Расчет температуры перехода и выбор теплоотвода.
57. Надежность изделий электронной техники и факторы, влияющие на интенсивность отказов.
58. Перспективные направления развития элементной базы электроники.

7.3.2 Примерные темы индивидуальных заданий и обзоров

- Расчет и построение вольт-амперной характеристики электронно-дырочного перехода при различных температурах.
- Расчет параметрического стабилизатора напряжения и обоснование выбора стабилитрона по справочным данным.
- Расчет ключевого каскада и сопоставление биполярного и полевого транзисторов для заданной задачи коммутации.
- Обоснование выбора датчика температуры для системы мониторинга микроклимата помещения с учетом требований к точности и стоимости.
- Обоснование выбора фотоприемника для системы контроля освещенности и расчет измерительного канала.
- Расчет теплового режима силового полупроводникового прибора и выбор системы охлаждения.
- Оценка влияния шумов элементной базы на разрешающую способность измерительного канала.

- Сравнительный анализ полупроводниковых материалов для приборов силовой электроники.
- Обзор отечественной элементной базы для устройств Интернета вещей и систем умных пространств.
- Микроэлектромеханические системы: физические принципы и применение в системах интеллектуализации пространств.