

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и
электроники

В.А. Небольсин
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Физические основы микро и нанoeлектроники»

Направление подготовки 11.03.01 Радиотехника

Профиль Радиотехнические средства передачи, приема и обработки
сигналов

Квалификация выпускника бакалавр

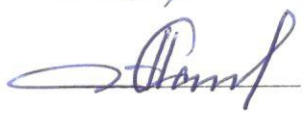
Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /Бадаев А.С./

Заведующий кафедрой
Радиоэлектронных
устройств и систем  /Журавлев Д.В./

Руководитель ОПОП  /Останков А.В./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Формирование у студентов достаточно глубоких знаний о фундаментальных физических процессах и явлениях, лежащих в основе проектирования, производства и эксплуатации радиоэлектронных устройств и систем, а также о ряде технологических процессов, связанных с производством микро- и нанoeлектронных приборов

1.2. Задачи освоения дисциплины

1.2.1 изучение студентами основных физических процессов, эффектов и явлений, составляющих фундамент проектирования, конструирования, производства и эксплуатации радиоэлектронных устройств и систем;

1.2.2 умение использовать полученные знания при разработке, производстве и эксплуатации микроэлектронных приборов, оптимизации, моделирования и автоматизации конструкторского и технологического проектирования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы микро и нанoeлектроники» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы микро и нанoeлектроники» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - Способен учитывать современные тенденции развития радиоэлектроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	Знать -физико-технологические проблемы субмикро-электронных приборов; - проблемы перехода от микро – к нанoeлектронике
	Уметь -использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач; - оптимизировать, моделировать и автоматизировать конструкторское и технологическое проектирование, обеспечивая прогресс микро- и нанoeлектронной техники.

	Владеть -современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации; - современными аппаратно-программными средствами автоматизации разработки конструкций и технологий производства
--	---

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы микро и наноэлектроники» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	40	40
В том числе:		
Лекции	20	20
Лабораторные работы (ЛР)	20	20
Самостоятельная работа	104	104
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	180 5	180 5

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
Аудиторные занятия (всего)	12	12
В том числе:		
Лекции	4	4

Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	159	159
Контрольная работа		
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	180 5	180 5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. занятия.	СРС	Всего, час
1	Введение	Предмет и задачи дисциплины. Роль физики твердого тела в развитии микроэлектроники. Физические пределы совершенствования полупроводниковой микроэлектроники. Перспективы применения сверхпроводящих материалов и оптических систем. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике. Основные понятия, определения и положения микро- и нанoeлектроники	1	0	12	13
2	Элементы квантовой физики	Связь электроники и квантовой физики. Этапы развития электроники. Основные представления квантовой механики. Квантовая модель атома. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Микрочастица в прямоугольном потенциальной яме. Туннельный эффект. Энергетический спектр кристалла. Волновой дуализм де Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга. Принцип запрета Паули. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Волновые функции свободных частиц. Квантовые энергии. Частица в потенциальном ящике. Квантовое состояние и вырождение.	1	0	12	13
3	Строение микро- и нанoeлектронных структур	Пространственное расположение частиц при формировании микроэлектронной структуры. Виды химической связи между	2	4	13	19

		атомами. Равновесное состояние системы атомов. Основные свойства материалов, определяемые особенностями химических связей Кристаллические решетки, типы симметрии и виды решетки, индексы Миллера. Дефекты структуры. Термодинамика точечных дефектов. Влияние дефектов на механические, электрические, оптические и магнитные свойства. Особенности структуры сплавов, ионных соединений, тонких и толстых пленок. Строение полупроводниковых кристаллов. Структурное стеклование аморфных веществ. Структурная стабилизация стеклообразных материалов, ее связь с временной стабильностью параметров элементов РЭС. Особенности структуры аморфного состояния металлов, элементарных полупроводников, халькогенидов. Структура полимеров. Линейные и пространственные полимеры. Физические состояния полимеров в зависимости от температуры. Кристалличность полимеров. ДНК – как материал нанoeлектроники. Нанотрубки. Фуллерены, фуллериты, фуллериды.				
4	Основы фрактальной физики и геометрии	Понятие фрактала. Аффинная геометрия. Математические фракталы. Фрактальная размерность. Некоторые реальные фракталы. Перколяция. Понятие фрактального кластера. Свойства фрактальных кластеров. Понятие вязких п Фрактальный подход в микро- и нанoeлектронике. Фрактальный анализ процесса кристаллизации. Механизм кластер-кластерной агрегатизации. Фрактальная эволюция поликристаллической структуры. Фрактальные структуры. Фрактоны и их свойства. Концепция мультифрактала	2	0	13	15

		альцев.				
5	Физические свойства твердых тел	Тепловые и механические свойства твердых тел. Деформация и напряжение в твердых телах. Упругая и пластическая деформация кристаллов. Дислокационный механизм пластической деформации кристаллов. Механизмы и кинетика процессов механического разрушения твердых тел. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Усталость. Нормальные колебания решетки и теплоемкость кристаллов, ее зависимость от температуры. Характеристическая температура кристалла. Связь теплового расширения с теплоемкостью и упругими характеристиками кристалла, параметр Грюнайзена; влияние структурных особенностей на тепловое расширение тел. Физические процессы создания материалов с малым КТР. Учет термоупругих напряжений при конструировании микроэлектронных устройств. Основы зонной теории твердых тел. Энергетические уровни электрона в изолированном атоме. Зонный характер энергетического спектра электронов в кристалле. Проводник, изолятор и полупроводник в свете зонной теории. Динамика электрона в идеальной кристаллической решетке. Энергия Ферми. Эффективная масса электрона. Электропроводность металлов. Классическая теория электропроводности, ее недостатки. Механизмы рассеяния носителей заряда. Квантовый подход к рассеянию носителей заряда; электрон-фононное рассеяние, рассеяние на ионизированных атомах примеси. Температурная зависимость удельной электропроводности металлов Диэлектрики. Однородные диэлектрики в постоянном и	4	8	15	27

		переменном электрических полях. Поляризация диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери. Зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь от температуры и частоты приложенного поля. Механизмы поляризации кристаллов с низкой симметрией при механической деформации. Магнитные свойства твердых тел. Ферро- и антиферромагнетизм. Термодинамические аспекты образования магнитных доменов. Механизмы намагничивания магнетиков в постоянном и переменном полях. Механизмы рассеяния энергии в ферромагнетиках при их перемагничивании. Магнитострикционный эффект и устройства на его основе. Особенности доменной структуры тонких пленок. Ферриты. Ферромагнетизм как эффект сосуществования нескольких магнитных подсистем. Обменные взаимодействия в подсистемах ферромагнетиков и их зависимость от координационного состояния катионов. Распространение электромагнитной волны в ферромагнетиках, поляризация электромагнитной волны, эффект Фарадея. Эффект магнитной памяти.				
6	Основы физики полупроводников	Трактовка запрещенной зоны энергии. Примесные атомы; примесная проводимость с точки зрения зонной теории. Оценка энергии активации примеси. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном и примесном полупроводнике. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники. Собственные полупроводники; условие электронейтральности; положение уровня Ферми; равновесная	4	4	9	17

		концентрация носителей заряда. Примесные полупроводники; равновесная концентрация носителей заряда в области истощения примесных атомов; положение уровня Ферми. Равновесная концентрация носителей при низких температурах; положение уровня Ферми. Случай сильного вырождения. Различные типы процессов рекомбинации. Прямая рекомбинация зона - зона; время жизни носителей. Рекомбинация через примеси и дефекты. Стационарные состояния; большой уровень возбуждения; малый уровень возбуждения; время жизни. Поверхностная рекомбинация. Контакт металл - полупроводник в равновесном и неравновесном состоянии, барьер Шоттки. P-n переход. Контактная разность потенциалов энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Резкий и плавный P-n переходы. Распределение потенциалов и напряженности электрического поля в резком p-n переходе. Толщина обедненного слоя; ее зависимость от прямого и обратного смещения. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Формула Шоттки. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. Отклонения от формулы Шоттки. Зарядная и диффузионная емкости p-n перехода. Пробой p-n перехода, его механизмы (плавный, туннельный, тепловой).				
7	Переход от микро- к наноэлектронике	Кванторазмерные эффекты. Простейшие виды кванторазмерных объектов. Квантовая яма. Квантовая нить. Квантовая точка. Энергетический спектр электронов и плотность электронных состояний в низкоразмерных областях. Важнейшие квантовомеханические	2	2	11	15

		характеристики тел. Энергетический спектр 3D-электронного газа. Энергетический спектр 2D-электронного газа. Электронный газ в квантовой нити (1D-газ). Электронный газ в квантовой точке (0D-газ). 2D-электронный газ в магнитном поле. Резонансный туннельный эффект. Полупроводниковые сверхрешетки. Одноэлектроника. Кулоновская блокада туннелирования. Спинотроника. Гигантское магнитосопротивление. Туннельное магнитосопротивление. Макромолекулярная электроника. Молекулярная электроника (молетроника).				
8	Физические основы функционирования устройств микро- и нанoeлектроники	Полупроводниковые диоды. Выпрямительные диоды. Стабилитроны. Варикапы. Биполярный транзистор. Структура и энергетическая диаграмма. Инжекция носителей. Активный режим, режимы насыщения и отсечки. Схемы включения с общей базой, общим эмиттером и коллектором. Коэффициент усиления по току. Эффективность эмиттера и коллектора, коэффициент переноса неосновных носителей заряда через базу. Модель Эберса-Молла. Эффект Эрли. Вольт-амперные характеристики при включении по схеме с общей базой и общим эмиттером. Переходные процессы в биполярном транзисторе. Частота отсечки. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Вольт-амперные характеристики этих приборов. Ток насыщения, крутизна характеристики. МДП (МОП) транзисторы. Идеальная МДП структура. Эффект поля. МДП транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. Режимы обеднения, обогащения и инверсии. Вольт-амперная характеристика МДП транзистора. Приближенная	3	2	10	15

		модель и ее уточнение; роль поверхностных состояний. Разновидности МОП транзисторов. Переходные процессы в полевых транзисторах. Эквивалентная схема МОП транзистора. Резонансно-туннельный диод. Устройства на основе сверхрешеток. Металлический одноэлектронный транзистор. Спиновый полевой транзистор. Элементы памяти на магнитных моментах ядер. КНИ-транзисторы. Транзисторы с двойным затвором. Гетеротранзисторы. Нанотранзистор на основе углеродных нанотрубок. Молекулы–диоды. Молекулы-транзисторы.				
9	Элементы оптоэлектроники. Перспективные направления микро- и нанoeлектроники	Фотоэффект и электролюминесценция. Фоторезисторы. Фотодиоды и фототранзисторы. Светодиоды. Оптроны. ИМС с использованием оптоэлектронных элементов. Лазеры. Лазерные наноструктуры. Фотоприемники на квантовых точках	1	0	9	10
экзамен						36
Итого			20	20	104	180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. занятия.	СРС	Всего, час
1	Введение	Предмет и задачи дисциплины. Роль физики твердого тела в развитии микроэлектроники. Физические пределы совершенствования полупроводниковой микроэлектроники. Перспективы применения сверхпроводящих материалов и оптических систем. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике. Основные понятия, определения и положения микро- и нанoeлектроники	0.25	0	15,25	15.5
2	Элементы квантовой физики	Связь электроники и квантовой физики. Этапы развития электроники. Основные представления квантовой механики. Квантовая модель атома. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Микрочастица в прямоугольном потенциальной яме. Туннельный эффект. Энергетический спектр	0.25	0	15,25	15.5

		кристалла. Волновой дуализм де Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга. Принцип запрета Паули. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Волновые функции свободных частиц. Квантовые энергии. Частица в потенциальном ящике. Квантовое состояние и вырождение.				
3	Строение микро- и нанoeлектронных структур	Пространственное расположение частиц при формировании микроэлектронной структуры. Виды химической связи между атомами. Равновесное состояние системы атомов. Основные свойства материалов, определяемые особенностями химических связей Кристаллические решетки, типы симметрии и виды решетки, индексы Миллера. Дефекты структуры. Термодинамика точечных дефектов. Влияние дефектов на механические, электрические, оптические и магнитные свойства. Особенности структуры сплавов, ионных соединений, тонких и толстых пленок. Строение полупроводниковых кристаллов. Структурное стеклование аморфных веществ. Структурная стабилизация стеклообразных материалов, ее связь с временной стабильностью параметров элементов РЭС. Особенности структуры аморфного состояния металлов, элементарных полупроводников, халькогенидов. Структура полимеров. Линейные и пространственные полимеры. Физические состояния полимеров в зависимости от температуры. Кристалличность полимеров. ДНК – как материал нанoeлектроники. Нанотрубки. Фуллерены, фуллериты, фуллериды.	0,5	2	19,5	22
4	Основы фрактальной физики и геометрии	Понятие фрактала. Аффинная геометрия. Математические фракталы. Фрактальная размерность. Некоторые реальные фракталы. Перколяция. Понятие фрактального кластера. Свойства	0.5	0	15	15.5

		фрактальных кластеров. Понятие вязких и Фрактальный подход в микро- и наноэлектронике. Фрактальный анализ процесса кристаллизации. Механизм кластер-кластерной агрегатизации. Фрактальная эволюция поликристаллической структуры. Фрактальные структуры. Фрактоны и их свойства. Концепция мультифрактала альцев.				
5	Физические свойства твердых тел	Тепловые и механические свойства твердых тел. Деформация и напряжение в твердых телах. Упругая и пластическая деформация кристаллов. Дислокационный механизм пластической деформации кристаллов. Механизмы и кинетика процессов механического разрушения твердых тел. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Усталость. Нормальные колебания решетки и теплоемкость кристаллов, ее зависимость от температуры. Характеристическая температура кристалла. Связь теплового расширения с теплоемкостью и упругими характеристиками кристалла, параметр Грюнайзена; влияние структурных особенностей на тепловое расширение тел. Физические процессы создания материалов с малым КТР. Учет термоупругих напряжений при конструировании микроэлектронных устройств. Основы зонной теории твердых тел. Энергетические уровни электрона в изолированном атоме. Зонный характер энергетического спектра электронов в кристалле. Проводник, изолятор и полупроводник в свете зонной теории. Динамика электрона в идеальной кристаллической решетке. Энергия Ферми. Эффективная масса электрона. Электропроводность металлов. Классическая теория	0,5	2	20,5	23

		электропроводности, ее недостатки. Механизмы рассеяния носителей заряда. Квантовый подход к рассеянию носителей заряда; электрон-фононное рассеяние, рассеяние на ионизированных атомах примеси. Температурная зависимость удельной электропроводности металлов Диэлектрики. Однородные диэлектрики в постоянном и переменном электрических полях. Поляризация диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери. Зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь от температуры и частоты приложенного поля. Механизмы поляризации кристаллов с низкой симметрией при механической деформации. Магнитные свойства твердых тел. Ферро- и антиферромагнетизм. Термодинамические аспекты образования магнитных доменов. Механизмы намагничивания магнетиков в постоянном и переменном полях. Механизмы рассеяния энергии в ферромагнетиках при их перемагничивании. Магнитострикционный эффект и устройства на его основе. Особенности доменной структуры тонких пленок. Ферриты. Ферромагнетизм как эффект сосуществования нескольких магнитных подсистем. Обменные взаимодействия в подсистемах ферромагнетиков и их зависимость от координационного состояния катионов. Распространение электромагнитной волны в ферромагнетиках, поляризация электромагнитной волны, эффект Фарадея. Эффект магнитной памяти.				
6	Основы физики полупроводников	Трактовка запрещенной зоны энергии. Примесные атомы; примесная проводимость с точки зрения зонной теории.	0,5	2	20,5	23

		Оценка энергии активации примеси. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном и примесном полупроводнике. Концентрация электронов и дырок в зонах. Невырожденные полупроводники. Собственные полупроводники; условие электронейтральности; положение уровня Ферми; равновесная концентрация носителей заряда. Примесные полупроводники; равновесная концентрация носителей заряда в области истощения примесных атомов; положение уровня Ферми. Равновесная концентрация носителей при низких температурах; положение уровня Ферми. Случай сильного вырождения. Различные типы процессов рекомбинации. Прямая рекомбинация зона - зона; время жизни носителей. Рекомбинация через примеси и дефекты. Стационарные состояния; большой уровень возбуждения; малый уровень возбуждения; время жизни. Поверхностная рекомбинация. Контакт металл - полупроводник в равновесном и неравновесном состоянии, барьер Шоттки. Р-п переход. Контактная разность потенциалов энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Резкий и плавный Р-п переходы. Распределение потенциалов и напряженности электрического поля в резком р-п переходе. Толщина обедненного слоя; ее зависимость от прямого и обратного смещения. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Формула Шоттки. Обратный ток р-п перехода, его составляющие. Отклонения от формулы Шоттки. Зарядная и диффузионная емкости р-п				
--	--	--	--	--	--	--

		перехода. Пробой р-п перехода, его механизмы (плавный, туннельный, тепловой).				
7	Переход от микро- к наноэлектронике	Кванторазмерные эффекты. Простейшие виды кванторазмерных объектов. Квантовая яма. Квантовая нить. Квантовая точка. Энергетический спектр электронов и плотность электронных состояний в низкоразмерных областях. Важнейшие квантовомеханические характеристики тел. Энергетический спектр 3D-электронного газа. Энергетический спектр 2D-электронного газа. Электронный газ в квантовой нити (1D-газ). Электронный газ в квантовой точке (0D-газ). 2D-электронный газ в магнитном поле. Резонансный туннельный эффект. Полупроводниковые сверхрешетки. Одноэлектроника. Кулоновская блокада туннелирования. Спинотроника. Гигантское магнитосопротивление. Туннельное магнитосопротивление. Макромолекулярная электроника. Молекулярная электроника (молетроника).	0.5	0	18	18.5
8	Физические основы функционирования устройств микро- и наноэлектроники	Полупроводниковые диоды. Выпрямительные диоды. Стабилитроны. Варикапы. Биполярный транзистор. Структура и энергетическая диаграмма. Инжекция носителей. Активный режим, режимы насыщения и отсечки. Схемы включения с общей базой, общим эмиттером и коллектором. Коэффициент усиления по току. Эффективность эмиттера и коллектора, коэффициент переноса неосновных носителей заряда через базу. Модель Эберса-Молла. Эффект Эрли. Вольт-амперные характеристики при включении по схеме с общей базой и общим эмиттером. Переходные процессы в биполярном транзисторе. Частота отсечки. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом.	0.5	2	20	22.5

		Вольт-амперные характеристики этих приборов. Ток насыщения, крутизна характеристики. МДП (МОП) транзисторы. Идеальная МДП структура. Эффект поля. МДП транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. Режимы обеднения, обогащения и инверсии. Вольт-амперная характеристика МДП транзистора. Приближенная модель и ее уточнение; роль поверхностных состояний. Разновидности МОП транзисторов. Переходные процессы в полевых транзисторах. Эквивалентная схема МОП транзистора. Резонансно-туннельный диод. Устройства на основе сверхрешеток. Металлический одноэлектронный транзистор. Спиновый полевой транзистор. Элементы памяти на магнитных моментах ядер. КНИ-транзисторы. Транзисторы с двойным затвором. Гетеротранзисторы. Нанотранзистор на основе углеродных нанотрубок. Молекулы–диоды. Молекулы-транзисторы.				
9	Элементы оптоэлектроники. Перспективные направления микро- и наноэлектроники	Фотоэффект и электролюминесценция. Фоторезисторы. Фотодиоды и фототранзисторы. Светодиоды. Оптроны. ИМС с использованием оптоэлектронных элементов. Лазеры. Лазерные наноструктуры. Фотоприемники на квантовых точках	0.5	0	15	15.5
экзамен						9
Итого			4	8	159	180

5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторный практикум

	Наименование лабораторной работы	
1.	Анализ структуры твердых тел	

2.	Исследование теплового расширения твердых тел	
3.	Исследование пьезоэффекта и распространения звуковых волн в твердых телах	
4.	Исследование электропроводности металлов и полупроводников	
5.	Размерные эффекты в твердых пленках	
6.	Эффект Пельтье и термоэлектрические охлаждающие модули	
7.	Физические основы получения и свойства наноразмерных пленок	
8.	Исследование физических процессов в биполярном транзисторе;	
9.	Исследование физических процессов в МДП транзисторе	

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	Знать -физико-технологические проблемы субмикро-электронных приборов; - проблемы перехода от микро – к	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	наноэлектронике			
	Уметь -использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач; - оптимизировать, моделировать и автоматизировать конструкторское и технологическое проектирование, обеспечивая прогресс микро- и наноэлектронной техники.	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть - современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации; - современными аппаратно-программными средствами автоматизации разработки конструкций и технологий производства	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения, 9 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	Знать -физико-технологические	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных

	проблемы субмикро-электронных приборов; - проблемы перехода от микро – к наноэлектронике					ответов
	Уметь -использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач; - оптимизировать, моделировать и автоматизировать конструкторское и технологическое проектирование, обеспечивая прогресс микро- и наноэлектронной техники.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть - современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации; - современными аппаратно-программными средствами автоматизации разработки конструкций и технологий производства	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые

контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Полупроводниковая интегральная микросхема представляет собой:

а) ситалловую подложку с закрепленными на ней миниатюрными полупроводниковыми приборами;

б) схему, выполненную по плёночной технологии на полупроводниковой пластине;

в) кристалл кремния с выполненными на нём методом полупроводниковой технологии элементами электрической схемы и соединениями между ними;

г) несколько активных и пассивных элементов, помещенных в один корпус.

2. Степень интеграции микросхемы является:

а) показателем функциональной сложности ИМС, характеризующим числом содержащихся в ней элементов и компонентов;

б) показателем надежности ИМС, характеризующим числом отказов схемы за некоторый период работы;

в) показателем плотности упаковки элементов;

г) число операций при изготовлении ИМС.

3. Кристаллическая решетка-это

а) атомы которой проявляют определенную закономерность хотя бы на микроскопических участках;

б) создать которое можно путём трансляции атомного узла по кристаллографическим направлениям;

в) которым удобно пользоваться для описания правильной внутренней структуры кристаллов;

г) атомы, расположенные в определенном порядке.

4. К линейным дефектам относятся:

а) дефекты по Шоттки;

б) дефекты по Френкелю;

- в) краевые дислокации;
- г) винтовые дислокации;
- д) границы зерен.

5. Теплоёмкость твёрдого тела при постоянном объеме выражает:

- а) изменение температуры при увеличении мощности нагревателя на 1Вт;
- б) изменение тепловой энергии при изменении температуры тела на 1 °С;
- в) изменение спектра нормальных колебаний частиц кристалла;
- г) количество тепла, переносимого через единицу площади за 1 с.

6. В металле перенос теплоты осуществляется:

- а) фононами и свободными электронами;
- б) только фононами;
- в) только электронами;
- г) ионами.

7. Диэлектрическая проницаемость - это физическая величина, показывающая:

- а) во сколько раз увеличивается сопротивление диэлектрика при помещении его в вакуум;
- б) какое напряжение возникает на противоположных сторонах пластины диэлектрика при помещении его в электрическое поле;
- в) во сколько раз увеличивается ёмкость конденсатора при заполнении диэлектриком пространства между его пластинами;
- г) на какую глубину проникает в диэлектрик электрической поле, напряженностью 1 В/м.

8. Электрический ток в металлах – это направленное движение (дрейф):

- а) заряженных частиц;
- б) ионов;

- в) электронов;
- г) электронов и дырок.

9. Закон Видемана-Франца-Лоренца формулируется так:

- а) отношение теплопроводности металлов λ к их электропроводности σ пропорционально температуре T ;
- б) отношение λ к σ не зависит от T ;
- в) произведение λ и σ пропорционально T ;
- г) λ не связана с σ .

10. Правило Маттисена:

- а) полное удельное сопротивление ρ реального металла есть сумма ρ , обусловленного рассеянием электронов на тепловых колебаниях атомов в узлах решётки и остаточного ρ , обусловленного рассеянием на статических дефектах структуры;
- б) ρ металла повышается при пластической деформации;
- в) ρ металла зависит от количества примеси;
- г) ρ металла повышается при нагревании.

11. Значение ρ тонких образцов металлов и сплавов:

- а) равно значению ρ массивных образцов;
- б) больше;
- в) меньше;
- г) зависит от природы конкретных металлов и сплавов.

12. Полупроводники - это вещества,

- а) заметно изменяющие свои электрические свойства под действием внешних воздействий;
- б) имеющие только аморфную структуру;
- в) ширина запрещенной зоны ΔW которых больше чем у диэлектриков;
- г) значение ρ которых меньше 10^{-5} Ом м.

13. Электрический ток в полупроводниках обусловлен дрейфом:

- а) электронов;
- б) заряженных частиц;
- в) электронов и дырок;
- г) ионов.

14. Уровень Ферми – это такой энергетический уровень,

- а) который у собственных полупроводников расположен в зоне проводимости;
- б) вероятность заполнения которого при температуре, отличной от абсолютного нуля, равна $1/2$;
- в) вероятность заполнения которого при температуре, отличной от абсолютного нуля, равна 1;
- г) который у всех полупроводников расположен в валентной зоне.

15. Эффект Ганна – это:

- а) возникновение когерентного ИК-излучения под действием электромагнитного поля;
- б) генерация высокочастотных электрических колебаний под действием сильного постоянного электрического поля;
- в) генерация СВЧ-колебаний под действием жёсткого излучения;
- г) возникновение электрического напряжения на гранях полупроводника под действием магнитного поля.

16. В чём заключается эффект Холла?

- а) в пластине полупроводника, по которой проходит ток, находящиеся в магнитном поле, перпендикулярном току, возникает когерентное оптическое излучение;
- б) на боковых гранях полупроводниковой пластины, находящейся в магнитном поле и по которой течёт ток, перпендикулярный полю, в направлении, перпендикулярном току и магнитному полю, возникает ЭДС;
- в) в пластине полупроводника, по которой проходит ток, находящийся в

магнитном поле, перпендикулярном току, возникают УЗ. - колебания;

г) возникновение когерентного ИК - излучения под действием электромагнитного поля.

17. Что такое электронно-дырочный переход?

а) контакт между металлами с разной работой выхода электронов;

б) контакт между полупроводником проводимости n- типа и металлом;

в) граница между областями с проводимостью p- и n- типа в полупроводнике;

г) переход электрона в зону проводимости и образование дырки в валентной зоне.

18. Полупроводниковый диод- это:

а) прибор с двумя p-n-переходами и двумя выводами;

б) прибор с одним p-n-переходом и двумя выводами;

в) кремниевый прибор с одним сплавным p-n-переходом, двумя выводами, предназначенный для детектирования;

г) прибор с переходом металл-металл, предназначенный для выпрямления переменного тока.

19. Выпрямительный диод – это полупроводниковый прибор,

а) предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный в силовых цепях, плоскостной с несимметричным p-n-переходом на основе германия или кремния;

б) предназначенный для получения прямоугольных импульсов, точечный, с плавным p-n-переходом на основе арсенида галлия;

в) предназначенный для выравнивания АЧХ, плоскостной, с симметричным p-n-переходом на основе кремния;

г) предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный в силовых цепях, точечный с несимметричным p-n-переходом на основе германия или кремния.

20. Полупроводниковый стабилитрон или опорный диод – это:

а) плоскостной германиевый диод, предназначенный для стабилизации частоты ВЧ – колебаний;

б) точечный диод на основе арсенида галлия, служащий для стабилизации малых токов;

в) плоскостной кремниевый диод, предназначенный для стабилизации уровня постоянного напряжения;

г) предназначенный для получения прямоугольных импульсов, точечный, с плавным р-п-переходом на основе арсенида галлия.

21. Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор:

а) с тремя р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов и дырок;

б) с двумя встречноключёнными р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов и дырок;

в) с двумя прямовключёнными р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов;

г) ток в котором создаётся движением электронов, а его изменение вызывает электрическое поле.

22. В каком направлении обычно включаются эмиттерный и коллекторный переходы соответственно?

а) в прямом; в обратном;

б) в обратном; в прямом;

в) оба в прямом;

г) оба в обратном.

23. Какая схема обеспечивает максимальное усиление по мощности?

а) ОБ;

б) ОЭ;

в) ОК;

г) ОС.

24. Как определяются параметры h_{11} (1), h_{12} (2), h_{21} (3) и h_{22} (4)?

а) U_1 / U_2 при $I_1 = 0$;

б) I_2 / U_2 при $I_1 = 0$;

в) U_1 / I_1 при $U_2 = 0$;

г) I_2 / I_1 при $U_2 = 0$.

25. Определите физический смысл параметров h_{11} (1) h_{12} (2), h_{21} (3) и h_{22} (4):

а) коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе;

б) коэффициент усиления по току при коротком замыкании на выходе;

в) выходная проводимость при холостом ходе на входе;

г) входное сопротивление при коротком замыкании на выходе.

26. Назовите режимы работы транзистора в схема с ОЭ (рис 3):

а) область отсечки;

б) область умножения;

в) активная область;

г) область насыщения.

27. Полевым или униполярным транзистором называется полупроводниковый прибор, в котором:

а) ток обусловлен движением электронов и дырок, а его изменение происходит под действием электрического поля, создаваемого внешним источником;

б) ток создается движением электронов, а его изменение вызывает электрическое поле, создаваемое входным сигналом;

в) ток обусловлен движением только электронов или дырок, а его изменение происходит под воздействием перпендикулярного току электрического поля, создаваемого входным сигналом;

г) с двумя прямовключёнными р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов.

28. Что называют истоком (1), стоком (2), затвором (3), каналом (4) полевого транзистора?

- а) электрод, к которому движутся носители;
- б) электрод, от которого начинается движение носителей;
- в) область между переходами;
- г) электрод, изменение напряжения на котором, вызывает изменение тока стока I_c .

29. Какие схемы включения полевых транзисторов Вы знаете?

- а) ОИ;
- б) ОБ;
- в) ОЭ;
- г) ОС;
- д) ОЗ.

30. Какой полевой транзистор называют МДП-транзистором?

- а) у которого между металлическим затвором и проводящим каналом находится диоксид кремния;
- б) у которого между металлическим затвором и проводящим металлическим каналом нанесена тонкая полимерная пленка;
- в) у которого между металлическим затвором и проводящим каналом находится диэлектрик.
- г) ток обусловлен движением электронов и дырок, а его изменение происходит под действием электрического поля, создаваемого внешним источником.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Каждая связь C—C в алмазе имеет энергию

$W_{CB} = 3,7$ эВ. Сколько энергии необходимо затратить для испарения 0,1 г алмаза:

- а) 30 ккал;
- б) 5920 Дж;
- в) 2 кДж;
- г) другое.

2. Известно, что алюминий кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности, $a=0,4041$ нм. Вычислите концентрацию свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится три электрона:

- а) 10^{13} м^{-3} ;
- б) $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$;
- в) $18,18 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

3. Оцените среднее энергетическое расстояние $\bar{W}$ между разрешенными энергетическими уровнями зоны проводимости в кристалле серебра объемом $V=1 \text{ см}^3$, если энергия Ферми $W_F=5,5$ эВ:

- а) 2,5 эВ;
- б) 1200 эВ;
- в) $1.89 \cdot 10^{-22} \text{ эВ}$;
- г) другое.

4. Вычислите длину свободного пробега электронов в меди при $T=300$ К, если ее удельное сопротивление при этой температуре равно $0,017 \text{ мкОм/м}$:

- а) $3,89 \cdot 10^{-8} \text{ м}$;
- б) $4,2 \cdot 10^{-13} \text{ м}$;
- в) $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- г) другое.

5. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки. Определить индексы Миллера этой плоскости, если $k = 1,5$:

$l = 3; m = 2:$

а) (423);

б) (111);

в) (362);

г) другое.

6. Определите, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, ОЦК и ГЦК решеткой.

7. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки. Определите индексы Миллера этой плоскости, если $k = 3$;

$l = 3; m = 3:$

а) (423);

б) (632);

в) (111);

г) другое.

8. Определите коэффициент теплопроводности металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях, если металл – олово, удельное сопротивление $\rho = 11,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а $\lambda = 400 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$:

а) $30 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

б) $60 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

в) 1000;

г) другое.

9. Известно, что металл кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности, $a = 0,6 \text{ нм}$. Вычислите концентрацию свободных электронов, полагая, что на

каждый атом кристаллической решетки приходится пять электронов.

- а) $30 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;
- б) $18,5 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$;
- в) 10^{16} см^{-3} ;
- г) другое.

10. Вычислите длину свободного пробега электронов в меди при $T=300 \text{ К}$, если ее удельное сопротивление при этой температуре равно $0,017 \text{ мкОм/м}$:

- а) $2,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- б) $1,18 \text{ мм}$;
- в) $3,89 \cdot 10^{-8} \text{ м}$;
- г) другое.

11. Определите время, в течение которого электрон пройдет расстояние 1 км по медному проводу, если удельное сопротивление меди $0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, а разность потенциалов на концах проводника $U=220 \text{ В}$. За какое время электрон про-летит это же расстояние, двигаясь без соударений, при той же разности потенциалов? Каково время передачи сигнала:

- а) $3,2 \text{ с}$;
- б) $9,6 \cdot 10^{-4} \text{ с}$;
- в) $2,24 \cdot 10^{-4} \text{ с}$;
- г) другое.

12. Определите, во сколько раз изменится удельная теплопроводность λ_T меди при изменении температуры ΔT от 20 до 200°С :

- а) 2 ;
- б) $1,36$;
- в) 10 ;
- г) другое.

13. Удельное сопротивление меди, содержащей 0,3 ат. % олова при температуре 300 К, составляет 0,0258 мкОм·м. Определите отношение β удельных сопротивлений меди при температурах 300 и 4,2 К. $\beta = \frac{\rho_{300}}{\rho_{4.2}}$:

- а) 20;
- б) 2,87;
- в) 16;
- г) другое;

14. Температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_{св}$ для олова в отсутствие магнитного поля равна 3,7 К, а критическая напряженность магнитного поля $H_{св}$ при температуре абсолютного нуля ($T=0$ К) составляет

$2,4 \cdot 10^4$ А/м. Рассчитайте максимально допустимое значение тока при температуре $T=2$ К для провода диаметром $d=1$ мм, изготовленного из сверхпроводящего олова. Определите для этой температуры диаметр провода, по которому может протекать ток 100 А без разрушения сверхпроводящего состояния:

- а) $1,87 \cdot 10^{-3}$ м;
- б) 2 мм;
- в) $14 \cdot 10^{-3}$ м;
- г) другое.

15. Вычислить, во сколько раз сопротивление R_{ω} медного провода круглого сечения диаметром $d=1$ мм на частоте $f=10$ МГц больше сопротивления R_0 этого провода постоянному электрическому току:

- а) 2;
- б) 5;
- в) 12;
- г) другое

16. Кристалл арсенида индия легирован серой так, что избыточная концентрация доноров $N_D - N_A = 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Можно ли считать, что при температуре $T=300^\circ\text{C}$ электрические параметры этого полупроводника

близки параметрам собственного арсенида индия, если эффективные массы плотности состояний для электронов $m_e = 0.023m_0$, для дырок $m_h = 0.43m_0$, а ширина запрещенной зоны (эВ) InAs изменяется с температурой по закону $0,462 - 3,5 \cdot 10^{-4}T$:

- а) да;
- б) нет;
- в) другое.

17. Вычислите положение уровня Ферми при $T=300$ К в кристаллах германия, содержащих $2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ атомов мышьяка и 10^{22} м^{-3} атомов галлия:

- а) 2 эВ;
- б) 0,179 эВ;
- в) 0,55 эВ;
- г) другое.

18. Определите скорость оптической генерации g неравновесных носителей заряда в пластине кремния на глубине 100 мкм от освещаемой поверхности при фотовозбуждении монохроматическим излучением интенсивностью $I_0 = 10^{20} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, если показатель поглощения материала на длине волны излучения $\alpha = 5 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$, а коэффициент отражения излучения $R = 0,3$:

- а) $2,36 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$;
- б) $4,12 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$;
- в) $3,2 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$;
- г) другое

19. Определить избыточную концентрацию носителей заряда и эпитаксиальном слое кремния толщиной $B = 20$ мкм при оптическом возбуждении монохроматическим излучением с интенсивностью $I = 10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, если время жизни неравновесных носителей заряда $t = 10$ нс, а показатель собственного поглощения кремния на длине волны излучения $\alpha = 2000$. Квантовый выход внутреннего фотоэффекта

принять равным единице.

а) 10^{13} см^{-3} ;

б) $5 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$;

в) $2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$;

г) другое.

20. Прямоугольный образец полупроводника n-типа с размерами $a=50$ мм, $b=5$ мм и $\delta=1$ мм помещен в магнитное поле с индукцией $B=0,5$ Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Под действием напряжения $U_n=0,42$ В, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток $I_a=20$ мА. Измерения показывают ЭДС Холла $U_H=6,25$ мВ. Найти удельную проводимость, подвижность и концентрацию носителей заряда для этого полупроводника, полагая, что электропроводность обусловлена носителями только одного знака:

γ	n	μ_n
а) 10 См/м ;	а) 10^{13} см^{-3} ;	а) $0,3 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
б) 480 См/м ;	б) 10^{22} м^{-3} ;	б) $210 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
в) 3 См/м ;	в) 10^{12} см^{-3} ;	в) $12 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
г) другое.	г) другое.	г) другое.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре, если материал –алюминий, скорость продольных волн $C_l=5000$ м/с, скорость поперечных волн $C_t=3000$, плотность алюминия $\rho=3000 \text{ кг/м}^3$.

E	G
-----	-----

а) 80 Мпа;	а) 27 Гпа;
б) 75 Гпа;	б) 100 Мпа;
в) 20 Гпа	в) 100 Гпа;
г) другое	г) другое

2. Определите коэффициент теплопроводности металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях, если металл – алюминий, удельное сопротивление $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а $\lambda = 400 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$:

а) 250 Дж;

б) 400 Вт/м·К;

в) 800 Вт;

г) другое.

3. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре, если материал – оргстекло, скорость продольных волн $C_l = 2500 \text{ м/с}$, скорость поперечных волн $C_t = 1000 \text{ м/с}$, плотность оргстекла

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

E	G
а) 1 ГПа;	а) 10 МПа;
б) 6,25 ГПа;	б) 1 ГПа;
в) 20 Мпа;	в) 2 МПа
г) другое.	г) другое

4. При выполнении лабораторной работы по изучению теплового расширения твердых тел при нагреве на 20°C было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5\text{ см}$. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения, если материал – алюминий, приращение длины образцов $\Delta L = 24\text{ мкм}$:

α	β
а) $5 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;	а) $70 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;
б) 10 ;	б) 2 ;
в) $24 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;	в) 80 ;
г) другое.	г) другое

5. При выполнении лабораторной работы по изучении теплового расширения твёрдых тел при нагреве на 20 было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5\text{ см}$. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения, если материал – стекло, приращение длины образцов $\Delta L = 5\text{ мкм}$:

α	β
а) $5 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;	а) $15 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;
б) 10^3 ;	б) 2 ;
в) 10^{-6} К^{-1} ;	в) 80 ;
г) другое.	г) другое.

6. Определите температурный коэффициент линейного расширения α_l и удлинение нихромовой проволоки, если известно, что при

повышении температуры от 20 до 1000°C электрическое сопротивление проволоки изменяется от 50 до 56,6 Ом. Длина проволоки в холодном состоянии $l=50$ м. Температурный коэффициент удельного сопротивления нихрома принять равным $15 \cdot 10^{-5} K^{-1}$:

α_l	Δl
а) $1,5 \cdot 10^{-5} K^{-1}$;	а) 73,5 см;
б) $2 \cdot 10^{-3} K^{-1}$	б) 1мм;
в) 5;	в) 10 мкм;
г) другое.	г) другое.

7. Между пластинами плоского конденсатора без воздушных промежутков зажат лист гетинакса толщиной $h = 1$ мм. На конденсатор подано напряжение $U=200$ В. Определите поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора σ_1 и на диэлектрике σ_g . Диэлектрическую проницаемость материала принять равной шести.

σ_1	σ_g
а) 10^{-3} Кл;	а) $8,85 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;
б) 10^{-5} Кл/м ² ;	б) 9,2 Кл;
в) 2,6 Кл;	в) $3,6 \cdot 10^{-2}$ Кл/м ² ;
г) другое.	г) другое.

8. На рис. 1 представлена стокзатворная характеристика полевого

транзистора с управляющим р-п-переходом КП302 с параметрами хода $N_g = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3} = n_i = 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Определите ширину р-п-перехода транзисторов d при комнатной температуре. $\epsilon = 12$, если $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $n_i = 10^{12} \text{ см}^{-3}$, а напряжение отсечки равно $U_{отс} = -2$:

- а) 20 нм;
- б) 1,8 мкм;
- 100 нм;
- г) другое

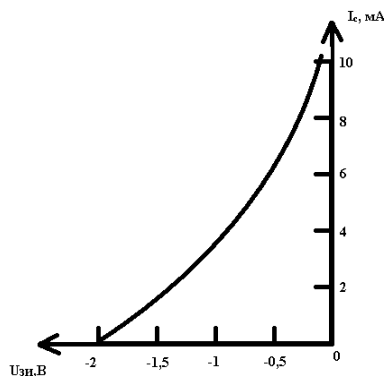


Рис. 1

9. На пластину GaAs определённой толщины h подано заданное постоянное напряжение U . Определите частоту электрических колебаний при $\mu = 3000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}} \cdot \text{с}$, если напряжение $U = 3 \text{ В}$, толщина пластины $h = 10 \text{ мкм}$:

- а) 1 ГГц;
- б) 100 МГц;
- в) 150 ГГц;
- г) другое.

10. В схеме стабилизации (рис.2) напряжения на нагрузке определите сопротивление нагрузки и мощность, выделяемую на ней при использовании разных стабилитронов, если напряжение стабилизации

$U_{ст} = 9 \text{ В}$, ток стабилизации $I_{ст} = 10 \text{ мА}$.

R_H	P
а) 1,2 кОм;	а) 0,2 Вт;
б) 400 Ом;	б) 10 Вт;
в) 1 Вт;	в) 1 Вт;
г) другое.	г) другое.

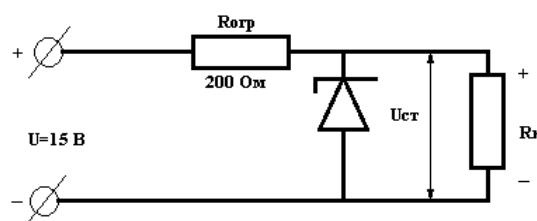


Рис. 2

11. Определите сопротивление нагревательных элементов при $t=300$. Элементы представляют собой проволочные спирали диаметром $D=1$ см, диаметр провода $d=0.5$ мм, число витков $n=100$, если материал — нихром, его удельное сопротивление $\rho_0 = 100 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а $\alpha_p = 10 \cdot 10^{-3}$

- а) 1 Ом;
- б) 640 Ом;
- в) 18 Ом;
- г) другое.

12. Определите напряжения туннельного и лавинного пробоя кремниевого диода при комнатной температуре с не-симметричным р-п-переходом $N_a \gg N_d$, при заданных концентрация носителей заряда в р- и п- областях. $E_{si}=12$, если концентрация натрия $N_a = 10^{19} \text{ см}^{-3}$,

концентрация $N_g = 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

$U_{\text{тун}}$	$U_{\text{л}}$
а) 75 В;	а) 2 В;
б) 750 В;	б) 103 В;
в) 1 В;	в) 1,4 В;
г) другое.	г) другое.

13. В составе ГИС находится тонкопленочный резистор длиной $l=500$ мкм шириной $b=50$ мкм, падение напряжения на резисторе $U=20$ В. Оптимальный температурный режим работы ГИС предполагает максимальную мощность рассеивания на резисторе $P=2$ Вт. Определить толщину h напыленной на подложку пленки резистора из различных резистивных материалов, если материал — карбид хрома, $\rho = 20 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

а) 100 мкм;

б) 10 мкм;

в) 10 нм;

г) другое.

14. При измерении равномерности магнитной индукции в зазоре магнитной системы динамика с помощью датчика Холла, ЭДС холла U_H менялась в зависимости от перемещения датчика L вдоль керна относительно верхнего фланца магнитной системы. Определите индукцию магнитного поля в контролируемых источниках. Датчик Холла представлял собой прямоугольную пластину полупроводника с размерами $a=5$ мм; $b=3$ мм, $\delta = 1$ мм. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости датчика. Под действием напряжения $U=10$ В, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток, $I_a = 20$ мА. Постоянная

Холла датчика $R_H = 6,25 \cdot 10^{-4}$, если перемещение датчика $L = 20$ нм, $U_H = 6,5$ мВ

- а) 1 Тл;
- б) 0,52 Тл;
- в) 10 Тл;
- г) другое.

15. Для кремниевого варикапа с несимметричным р-п-переходом

$N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_D = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_D = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ определите барьерную ёмкость C_b перехода при различных обратных напряжениях $U_{обр}$ и добротность Q на частоте $f=10$ МГц и активном сопротивлении $R=1$ Ом, площадь перехода $S=1 \text{ мм}^2$. Температура комнатная, если $U_{обр} = -1$ В.

C_b	Q
а) 2500 пФ;	а) 46;
б) 3200 пФ;	б) 500;
в) 17 пФ;	в) 70;
г) другое.	г) другое.

16. К пластине полупроводника длиной $l=50$ мм приложено напряжения $U=5$ В. Какое время электрон пройдёт через весь образец при заданной подвижности электронов, если полупроводник — Ge, подвижность электронов $\mu_n = 0,4 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$

- а) 0,1 мс;
- б) 0,2 с;
- в) 1,25 мс;
- г) другое.

17. Определите контактную разность потенциалов р-п-перехода, сформированного в различных полупроводниках при комнатной температуре при заданных концентрациях акцепторных N_A , донорных атомов N_D и собственных носителей n_i если полупроводник – GaAs, концентрация акцепторных носителей $N_A = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, концентрация донорных носителей $N_D = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и собственных носителей $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

- а) 1 В;
- б) 0,78 В;
- в) 0,1 В;

18. Определите максимальную ширину запрещенной зоны ΔE полупроводникового фотодетектора, если он должен быть чувствительным к излучению с заданной длиной волны λ , если полупроводник – GaAs, длина волны излучения $\lambda = 900$ нм.

- а) 1.4 эВ;
- б) 10 эВ;
- в) 16,8 эВ;
- г) другое.

19. При расчете разделительного фильтра акустической системы было получено значение индуктивности $L=5$ мГн. Определите число витков катушки при использовании стандартного каркаса длиной $l=50$ мм, площадью поперечного сечения каркаса $s=50$ мм² и цилиндрических ферритовых сердечников внутри каркаса различного типа, если марка феррита — 1000НМ, магнитная проницаемость сердечника $\mu = 1000$.

- а) 500;
- б) 65;
- в) 200;
- г) другое.

20. Определите емкости пленочных цилиндрических конденсаторов с различными диэлектриками. Конденсатор представляет собой свёрнутые слои алюминиевой фольги и диэлектрической пленки длиной, $a=1$ м, шириной $b=5$ см и толщиной $h=0.25$ мм, если диэлектрик — фторопласт, диэлектрическая проницаемость $\epsilon =$

- а) 100 мкФ;
- б) 35 мкФ;
- в) 1600 пФ;
- г) другое

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Основные понятия, определения и положения микро- и наноэлектроники.
2. Связь электроники и квантовой физики.
3. Этапы развития электроники.
4. Виды химических связей.
5. Структура твёрдых тел.
6. Кристаллические вещества.
7. Строение полупроводниковых кристаллов.
8. Аморфные вещества.
9. Полимеры.
10. Структуры и свойства плёнок.
11. Углеродные наноструктуры.
12. Свойства материалов, определяющих особенности химических связей.
13. Фракталы, свойства, структуры.
14. Фрактальный подход в микро- и наноэлектронике.
15. Механические свойства твёрдых тел.
16. Прочность и разрушение твёрдых тел.
17. Теплоёмкость твёрдых тел.
18. Теплопроводность твёрдых тел.
19. Тепловое расширение твёрдых тел.
20. Диффузия.
21. Основы зонной теории твёрдых тел.
22. Проводники, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории.
23. Электропроводность металлов и сплавов.
24. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков.
25. Электропроводимость диэлектриков.
26. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери.
27. Активные диэлектрики. Приборы функциональной электроники на их основе.
28. Магнитные свойства твёрдых тел. Классификация магнитов.
29. Природа ферромагнетизма.
30. Процессы при намагничивании ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Магнитострикция.
31. Магнитные потери, магнитная проницаемость и угол потерь. Поверхностный эффект.
32. Классификация магнитных материалов.
33. Материалы с ППГ и тонкие магнитные плёнки. ЗУ на их основе.
34. Магнитный резонанс и его применение.
35. Основы статистической физики. Плотность числа состояний.
36. Распределение Максвелла-Больцмана и Бозе-Энштейна.

37. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
38. Электропроводность полупроводников. Собственные полупроводники. Концентрация носителей.
39. Примесные полупроводники. Концентрация носителей. Температурные зависимости электропроводности. Зонные диаграммы.
40. Вырожденные и невырожденные полупроводники.
41. Неравновесные носители заряда и механизмы рекомбинации. Зонные диаграммы.
42. Фотопроводимость полупроводников.
43. Физические эффекты в полупроводниках. Эффект сильного поля. Эффект Зенера.
44. Эффект Ганна. Приборы на основе эффекта.
45. Оптические явления в полупроводниках.
46. Термоэлектрические явления в полупроводниках.
47. Эффект Холла.
48. Поверхностные эффекты в полупроводниках.
49. Компактные явления в полупроводниках. Контакт металл-полупроводник. Зонная диаграмма.
50. Образование и свойства р-п перехода. Зонные диаграммы.
51. Прямое и обратное включение р-п перехода. Зонные диаграммы.
52. Явление пробоя р-п перехода. Виды пробоя.
53. Полупроводниковые диоды, классификация, методы изготовления.
54. Выпрямительные диоды.
55. Стабилитрон.
56. Варикап.
57. СВЧ-диоды.
58. Переходные процессы в диодах.
59. Структура биполярных транзисторов и принцип действия.
60. Схемы включения транзисторов.
61. Статические характеристики и параметры транзисторов.
62. Режимы работы транзистора.
63. Частотные свойства транзисторов.
64. Полевые транзисторы. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом.
65. МДП-транзисторы со встроенным каналом.
66. МДП-транзисторы с индуцированным каналом.
67. Фоторезисторы.
68. Фотодиоды и фототранзисторы.
69. Светодиоды.
70. Оптроны.
71. Оптоэлектронные ИМС.
72. Лазеры.
73. Переход от микро- к наноэлектронике. Кванторазмерные характеристики и объекты.

74. Одноэлектроника. Кулоновская блокада.
75. Спинотроника. Гигантское магнитное сопротивление.
76. Молекулярная электроника.
77. Резонансно-туннельный диод.
78. Устройства на основе квантовых точек и сверхрешёток.
79. Металлический одноэлектронный транзистор.
80. Спиновый полевой транзистор.
81. Элементы памяти на магнитных моментах ядер.
82. КНИ-тринзисторы.
83. Транзисторы с двойным затвором.
84. Гетеротранзисторы.
85. Углеродная электроника.
86. Применение фуллеренов и их производных в микро и наноэлектронике.
87. Наноэлектронные устройства на основе углеродных нанотрубок.
88. Молекулы-диоды, молекулы-транзисторы, молекулы-компьютеры.
89. Квантовые компьютеры.
90. Оптоэлектронные наноустройства.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
2	Элементы квантовой физики	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных

			работ, защита реферата
3	Строение микро- и наноэлектронных структур	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
4	Строение микро- и наноэлектронных структур	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
5	Физические свойства твердых тел	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
6	Основы физики полупроводников	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
7	Переход от микро- к наноэлектронике	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
8	Физические основы функционирования устройств микро- и наноэлектроники	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
9	Элементы оптоэлектроники. Перспективные направления микро- и наноэлектроники	ПК-4	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8. УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Балашов Ю.С. Технологические операции в производстве РЭС : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2006. - 147 с. - 26-00.

2. Бадаев А.С. Физические основы микроэлектроники : Учеб. пособие. Ч.1 : Физические свойства твердых тел. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 254 с. - 172-86; 250 экз.

3. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность [Электронный ресурс] : учебное пособие / Лозовский В. Н., Лозовский С. В. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2019. - 332 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-3986-7. URL: <https://e.lanbook.com/book/113943>

4. Щука А.А. Электроника : учеб. пособие / под ред. А.С.Сигова. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 800 с. : ил. - ISBN 5-94157-461-4 : 325-00.

5. Бадаев, А.С. Физические основы полупроводников и микроэлектронной техники : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 148 с. - 56-00.

6. Балашов Ю.С., Иевлев В.П. Физические основы микроэлектроники: учеб. Пособие 2003.

7. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов 2011, 2002.

8. Балашов Ю.С., Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам № 1-3 «Исследование физических свойств твердых тел» 2010.

9. Балашов Ю.С., Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам № 4-6 «Исследование физических свойств твердых тел» 2009.

10. Бадаев А.С. Методические указания по выполнению тестовых заданий по дисциплине «Физические основы микроэлектроники» 2010.

11. Под ред. Джексона К.А., Шретера В. Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов: Т.1: Электронная структура и свойства полупроводников 2004.

8.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1	Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте:
2	Компьютерные практические работы: - Исследование влияния геометрии канала на характеристики субмикронных МОП-транзисторов; - Изучение влияния конструктивных особенностей биполярных транзисторов на их основные характеристик; - Исследование характеристик субмикронных МОП-транзисторов в зависимости от подзатворного диэлектрика и количества затворов; - Моделирование параметров полупроводниковых диодов.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1	Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций проекционной аппаратурой.	и
9.2	Специализированная учебная лаборатория № 228/3, оборудованная лабораторными стендами, наглядными пособиями, плакатами и стендами по основным разделам дисциплины.	
9.3	Средства обеспечения освоения дисциплины: 1. Дилатометр ДКВ-4а 2. Блок управления дилатометром ДКВ-4а 3. Вольтметр универсальный В7-21 – 3 шт. 4. Вольтметр универсальный В7-16а	

	5. Лабораторный стенд с термоэлектрическим модулем 6. Термошкаф – 1 шт. 7. Измеритель временных интервалов И2-22 8. Осциллограф С1-79 9. Модульный учебный комплекс МУК-ФОЭ1 – 2 шт. 9.1 Генератор напряжений ГНЗ-03А – 2 шт. 9.2 Амперметр-вольтметр АВ1-13 – 4 шт. 9.3 Блок управления тиристорами БЛ2-03 – 2 шт. 9.4 Стенд с объектами исследования СЗ-ЭЛ01 – 2 шт. 9.5 Стенд СЗ-ТТ02 – 2 шт. 10. Модульный учебный комплекс МУК РМ – 1 - 1 шт. 11. Персональные компьютеры – 2 шт.	
--	--	--

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физические основы микро и нанoeлектроники» .

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой конспектов лекций и отчетов по лабораторным работам, тестовых заданий и задач.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
---------------------	-----------------------

Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

АННОТАЦИЯ
к рабочей программе дисциплины
«Физические основы микро и наноэлектроники»

Направление подготовки 11.03.01 Радиотехника

Профиль Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

Цель изучения дисциплины:

Формирование у студентов достаточно глубоких знаний о фундаментальных физических процессах и явлениях, лежащих в основе проектирования, производства и эксплуатации радиоэлектронных устройств и систем, а также о ряде технологических процессов, связанных с производством микро- и наноэлектронных приборов.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение студентами основных физических процессов, эффектов и явлений, составляющих фундамент проектирования, конструирования, производства и эксплуатации радиоэлектронных устройств и систем;
- умение использовать полученные знания при разработке, производстве и эксплуатации микроэлектронных приборов, оптимизации, моделирования и автоматизации конструкторского и технологического проектирования

Перечень формируемых компетенций:

ПК-4 - Способен учитывать современные тенденции развития радиоэлектроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности

Общая трудоемкость дисциплины: 5 зачетные единицы

Форма итогового контроля по дисциплине: Экзамен