

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета _____ В.А. Небольсин

«17» февраля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Радиоматериалы и радиокомпоненты»

Специальность 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Направленность Радиоэлектронные системы передачи информации
Квалификация выпускника Инженер
Нормативный период обучения 5,5 лет
Форма обучения Очная
Год начала подготовки 2023 г.

Автор программы _____

/Бадаев А.С./

Заведующий кафедрой
радиоэлектронных устройств
и систем _____

/Журавлёв Д.В./

Руководитель ОПОП _____

/Журавлёв Д.В./

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины: расширить и углубить знания студентов в области современных радиокомпонентов, а также основных материалов, используемых при их изготовлении.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение структуры, электрофизических свойств, характеристик и областей применения материалов, применяемых в радиоэлектронных системах (РЭС). Изучение типов, эксплуатационных характеристик и маркировок отечественных и зарубежных радиокомпонентов. Освоение методов выбора радиокомпонентов для различных видов РЭС.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Радиоматериалы и радиокомпоненты» относится к дисциплинам обязательной части блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Радиоматериалы и радиокомпоненты» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-4 - Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных.

ОПК-7 - Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-4	знать физико-химические свойства радиоматериалов, основные типы и характеристики современных радиокомпонентов, основные типы измерительного оборудования, приборов и исследовательских установок
	уметь проводить экспериментальные исследования физико-химических свойств радиоматериалов, измерять характеристики современных радиокомпонентов, использовать пакеты прикладных программ для обработки и представления экспериментальных данных
	владеть навыками проведения физико-химических экспериментов, оценивания и представления их результатов, навыками работы с современным радиоизмерительным оборудованием, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных
ОПК-7	знать стандартные задачи профессиональной деятельности, современные методы исследований свойств радиоматериалов и характеристик радиоэлементов, современные типы информационно-коммуникационные технологии, применяемые для решения задач профессиональной деятельности
	уметь применять физико-химические законы современного радиоэлектронного материаловедения для решения практических задач, выбирать радиоматериалы для создания современных радиокомпонентов с заданными характеристиками, определять оптимальный состав радиокомпонентов при разработке РЭС конкретной конструкции и назначения
	владеть современными информационно-коммуникационными технологиями для решения вышеперечисленных задач, навыками пользования электронными справочными материалами при выборе радиоматериалов и радиокомпонентов при разработке и конструировании РЭС, методами применения современных информационно-коммуникационных технологий при работе с технической документацией на РЭС

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Радиоматериалы и радиокомпоненты» составляет 11 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		7	8	9
Аудиторные занятия (всего)	252	108	90	54
В том числе:				
Лекции	108	36	36	36
Практические занятия (ПЗ)	54	36	18	-
Лабораторные работы (ЛР)	90	36	36	18
Самостоятельная работа	81	36	27	18
Курсовая работа	+		+	
Курсовой проект				
Контрольная работа				
Вид промежуточной аттестации	+	зач.	экз.	экз.
Контроль	63		27	36
Общая трудоемкость	час	396	144	144
	зач. ед.	11	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц.	Прак зан.	Лаб . зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Предмет и задачи дисциплины. Роль современного радиоматериаловедения в развитии микро- и нанoeлектроники. Основные понятия, определения и положения дисциплины. Основные сведения о материалах РЭС.	2	2	-	1	5
2	Элементы квантовой и статистической физики	Связь дисциплины с квантовой физикой и физикой твердого тела. 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. Плотность числа состояний в пространстве импульсов энергий. Распределение Максвелла-Больцмана, Бозе-Эйнштейна, Ферми-Дирака.	4	2	-	1	7
3	Строение и структура материалов радиоэлектроники	Пространственное расположение частиц при формировании микроэлектронной структуры. Виды химической связи между атомами. Равновесное состояние системы атомов. Основные свойства материалов, определяемые особенностями химических связей. Кристаллические вещества. 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. Аморфное состояние вещества. 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, стекол, керамик и ситаллов. Современные	6	4	4	2	16

		углеродные структуры: алмазоподобные структуры, карбин, графен, фуллерены, фуллериты, фуллериды, нанотрубки.					
4	Общие физические свойства радиоматериалов	Механические свойства. Деформация и напряжение в твердых телах. Упругая и пластическая деформация кристаллов. Закон Гука. Модуль Юнга. Дислокационный механизм пластической деформации кристаллов. Механизмы и кинетика процессов механического разрушения твердых тел. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Усталость. Тепловые свойства. 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. Теплопроводность радиоматериалов. Электрические свойства. 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 радиоматериалов. Классическая теория электропроводности, ее недостатки. Механизмы рассеяния носителей заряда. Квантовый подход к рассеянию носителей заряда; электрон-фононное рассеяние, рассеяние на ионизированных атомах примеси. Физические основы сверхпроводимости.	8	6	8	3	25
5	Электропроводность твердых тел	Физическая природа электропроводности металлов. Температурная зависимость удельного сопротивления. Влияние примесей и других факторов. Правило Матиссена. Электропроводность сплавов. Правило Курнакова-Нордгейма. Термоэлектрические явления. Зонные диаграммы. Электропроводность полупроводников. Собственные и примесные полупроводники. Концентрация и подвижность носителей заряда. Температурные зависимости электропроводности. Вырожденные и не вырожденные полупроводники. Зонные диаграммы. Влияние внешних факторов на электропроводность полупроводников. Неравновесные носители заряда и механизмы рекомбинации. Зонные диаграммы. Фотопроводимость. Поверхностные эффекты в полупроводниках.	6	4	12	2	24

6	Физические эффекты и явления в полупроводниках	Физические эффекты в полупроводниках. Эффекты сильного поля. Эффект Зенера. Эффект Ганна. Оптические явления в полупроводниках. Эффект Холла. Применение Эффектов. Контактные явления в полупроводниках. Контакт металл-полупроводник в равновесном и неравновесном состоянии. Барьер Шоттки. Работы выхода электрона. Контактная разность потенциалов. Зонные диаграммы. P-n переход. Контактная разность потенциалов; энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Резкий и плавный P-n переходы. Распределение потенциалов и напряжённости электрического поля в резком p-n переходе. Толщина обеднённого слоя; её зависимость от прямого и обратного смещения. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Формула Шокли. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. Отклонения от формулы Шокли. Зарядная и диффузионная ёмкости p-n перехода. Пробой p-n перехода, его механизмы (лавинный, туннельный, тепловой).	8	6	4	3	21
7	Диэлектрические свойства твердых тел	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. Электропроводность диэлектриков. Электрическая прочность. Зонные диаграммы. Пассивные и активные диэлектрики. Физические основы пьезоэффекта. Применения в функциональной электронике	4	4	4	2	14
8	Магнитные свойства радиоматериалов	Магнитные свойства твердых тел. Ферро- и антиферромагнетизм. Термодинамические аспекты образования магнитных доменов. Механизмы намагничивания магнетиков в постоянном и переменных полях. Механизмы рассеяния энергии в ферромагнетиках при их перемагничивании. Магнито-стрикционный эффект и устройства на его основе. Особенности доменной структуры тонких плёнок. Ферриты. Ферромагнетизм как эффект сосуществования нескольких магнитных подсистем ферромагнетиков и их зависимость от координационного состояния катионов. Распространение электромагнитной волны в ферромагнетиках, поляризация электромагнитной волны, эффект Фарадея. Эффект магнитной памяти. Супер и парамагнетизм. Эффект гигантского магнитного сопротивления (ГМС), применение. Магнитокалорический эффект. Физические основы спинотроники. Магнитный резонанс. Применение.	6	4	4	2	16

9	Переход от микро-электроники к наноэлектронике	Основные понятия, определения и положения наноэлектроники. 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. Одноэлектронника. Кулоновская блокада туннелирования. Кулоновская блокада в структурах с двумя туннельными переходами. Полупроводниковая спинотроника. Элементы памяти на магнитных моментах ядра. Макромолекулярная электроника. Молекулярная электроника (молетроника). Молекулы – проводники, полупроводники и изоляторы. Молекулярные элементы памяти. Самосборка и самоорганизация наноэлектронных структур на основе молекул ДНК.	8	4		1	13
10	Перспективные направления развития электронного материаловедения	Функциональная электроника. Оптоэлектроника. Магнетоэлектроника. Акустоэлектроника. Хемотроника. Кριοэлектроника. Диэлектрическая электроника. Биоэлектроника.	2			1	3
11	Общие сведения о радиоматериалах	Радиоматериалы как объект научного исследования. Общие сведения о радиоматериалах. Основные понятия, определения и научные задачи электронного материаловедения. Классификация и общие требования к радиоматериалам.	2			3	5
12	Проводниковые материалы	Классификация проводниковых материалов. Металлы высокой проводимости. Благородные металлы. Тугоплавкие металлы. Силициды тугоплавких и платиновых металлов. Применение в микроэлектронике. Композиционные проводниковые материалы. Резистивные материалы. Сплавы высокого сопротивления. Тонкопленочные резисторы. Углеродистые и оксидные резистивные материалы. Материалы толстопленочных резисторов. Сверхпроводящие материалы и криопроводники. Высокотемпературная (ВТ) сверхпроводимость. Сверхпроводящие металлы, сплавы, керамики, наноматериалы. Применение в микро- и наноэлектронике. Припои. Проводниковые наноматериалы, композиты на основе проводящих наночастиц. Углеродные и органические проводниковые наноструктуры, их применение в микро- и наноэлектронике.	10	4	10	6	30

13	Полупроводниковые материалы	Классификация полупроводников. Элементарные полупроводники. Кремний Si. Германий Ge. Кремниевые микро- и нанoeлектронные структуры: аморфный Si; пористый Si; структуры Si на изоляторе, Si на сапфире, нано- кристаллы Si, кремниевые нано- волокна, нано- проволоки, нано- трубки. Квантово- размерные структуры на основе Si и Ge. Применение в микро- и нанoeлектронике. Полупроводниковые соединения $A^{IV}B^{IV}$, $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}_2B^{VI}$. Применение в микро- и нанoeлектронике. Твердые растворы на основе полупроводниковых соединений. Гетероструктуры. Кванто- размерные гетероструктуры. Применение в микро- и нанoeлектронике. Углеродные полупроводниковые материалы и структуры. Карбин. Графит. Графен. Лонсдейлит. Алмаз. Наноалмазы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Применение в микро- и нанoeлектронике (Углеродная электроника). Аморфные полупроводники. Стекла. Полимеры. Органические полупроводники. ДНК. Применение в микро- и нанoeлектронике (Молекулярная электроника).	6	6	14	6	32
14	Диэлектрики	Классификация диэлектрических материалов. Пассивные диэлектрики. Стекла. Ситаллы. Керамика. Полимеры. Лаки, эмали, компаунды и клеи. Применение в микро- и нанoeлектронике. Изоляция ИМС. Пленки для подзатворных диэлектриков в МДП- структурах. Подложки БИС, ГИС. Материалы для конденсаторов, резонаторов, лазеров. Активные диэлектрики. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Электреты. Жидкие кристаллы. Применение в устройствах функциональной электроники.	6	4	8	6	24
15	Магнитные материалы	Классификация магнитных материалов. Магнитомягкие НЧ- материалы. Железо. Электротехническая сталь. Низкокоэрцитивные высокопроницаемые сплавы. Аморфные сплавы. Магнитомягкие ВЧ- материалы. Ферриты. Магнитодиэлектрики. Магнитотвердые материалы. Материалы для магнитной записи. Ферриты для устройств СВЧ. Материалы с ППГ. Применение. Тонкие магнитные пленки, ЗУ на их основе. Магнитострикционные материалы. Наноструктурированные магнитные материалы. Супер- парамагнетизм. Наноуглеродные и другие новые ферромагнетики. Гигантское магнитное сопротивление (ГМС), материалы с ГМС, применение эффекта. Наноматериалы с магнитокалорическим эффектом. Магнитные полупроводники. Материалы спинотроники. Применение.	2	4	4	12	22

16	Резисторы	Резисторы. Их назначение и функции в РЭА. Классификация резисторов и их основные параметры. Конструкция резисторов. Тонкопленочные резисторы. Система условных обозначений резисторов на принципиальных схемах и в конструкторской документации.	2			1	3
17	Конденсаторы	Конденсаторы. Функции конденсаторов в РЭА и их основные параметры. Классификация конденсаторов по типу используемого материала и функциональным признакам. Конструкции конденсаторов постоянной емкости. Конденсаторы ИМС. Условные обозначения на принципиальных схемах и в конструкторской документации	2			1	3
18	Катушки индуктивности. Трансформаторы	Катушки индуктивности, трансформаторы, дроссели, линии задержки, их основные параметры. Конструкции и условия эксплуатации. Индуктивность и собственная емкость катушек индуктивности. Потери в катушках. Магнитопроводы трансформаторов. Потери в трансформаторах. Основные принципы расчета. Условные обозначения.	2			1	3
19	Элементы коммутации	Элементы коммутации. Функции коммутации в РЭА. Типы разъемов, переключателей, реле. Герконы и оптроны. Конструкция, основные параметры, условные обозначения.	2			1	3
20	Диоды	Классификация, методы изготовления. Выпрямительные диоды. Диоды Шоттки. Стабилитроны. ВАХ, основные характеристики, условные обозначения, области применения. Варикапы. ВЧ- диоды. СВЧ- диоды. Импульсные диоды. Принцип действия, ВАХ, основные параметры, области применения, условные обозначения, области применения.	4		4	2	10
21	Биполярные транзисторы	Разновидности биполярных транзисторов. Устройство и принцип действия. Схемы включения, режимы работы. Статические характеристики, влияние температуры, предельные режимы. Дифференциальные параметры. Работа транзистора в усилительном и импульсном режимах. Частотные свойства. Условные обозначения, области применения.	4		2	2	8
22	Полевые транзисторы	Виды полевых транзисторов. Транзисторы с управляющим р-п переходом. Устройство и принцип действия. Статические характеристики. Режимы работы. Дифференциальные параметры. Транзистор с управляющим переходом металл- полупроводник. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Устройство, принцип действия. МДП- транзистор со встроенным каналом. МДП- транзистор с индуцированным каналом. Статические характеристики, режимы работы. Дифференциальные параметры. Усилительные и частотные свойства. Условные обозначения.	4		4	2	10

23	Интегральные микросхемы (ИМС)	Классификация ИМС. Полупроводниковые биполярные ИМС. Конструкция элементов биполярных ИМС: интегральные биполярные транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы. Полупроводниковые МДП ИМС. Конструкции элементов МДП ИМС: интегральные МДП- транзисторы, конденсаторы, вспомогательные элементы. Некоторые конструктивные особенности субмикронных МДП- структур. Биполярно- полевые полупроводниковые ИМС. Конструкции элементов. ИМС на основе полупроводников $A^{III}B^V$. Конструкции элементов на $A^{III}B^V$: диоды, биполярные транзисторы с гетеропереходами, полевые транзисторы. Современные тенденции формирования ИМС на основе полупроводников $A^{IV}B^{IV}$. Конструкция элементов на основе соединения SiGe и карбида кремния SiC. Гетероэпитаксиальные структуры на основе твердых растворов SiGe: гетероструктурные биполярные транзисторы, МОП, КМОП и БиКМОП- структуры, СБИС на их основе. Подложки ИМС, силовые и СВЧ- приборы на основе SiC. Гибридные интегральные микросхемы (ГИС). Конструкции элементов: пленочные резисторы, конденсаторы, распределенные RC- структуры, пленочные индуктивности, проводники и контактные площадки, активные площадки ГИС. Радиокомпоненты экстремальной электроники на основе нитрида галлия GaN, SiC и алмаза. Условные обозначения ИМС.	2		4	14	20
24	Оптоэлектронные радиокомпоненты	Фоторезисторы. Фотодиоды и фототранзисторы. Светодиоды. Оптоны. Оптоэлектронные ИМС. Лазеры. Оптоэлектронные устройства на основе наноразмерных гетероструктур. Принцип действия, характеристики, условные обозначения.	2			2	4
25	Компоненты радиоэлектроники	Резонансно- туннельный диод. Одиозлектронный и другие нанотранзисторы. Спинной полевой транзистор. Наноконпоненты углеродной и молекулярной электроники. Структуры на основе квантовых точек, проволок и сверхрешеток.	2		4	2	8
26	Компоненты функциональной электроники	Резонаторы. Термоэлектрические устройства. Компоненты на основе ПАВ. Магнитно- и оптоэлектронные устройства, хранение и отображение информации. Ячейки отклонения и модуляции лазерного излучения. Устройства на основе эффекта Ганна.	2			2	4
Итого			108	54	90	81	333

5.2 Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы
1	Анализ структуры твердых тел
2	Исследование теплового расширения твердых тел и термических напряжений в спаях металл-стекло
3	Исследование распространения УЗ-волн в твердых телах. Определение модулей упругости
4	Исследование электропроводности металлов и сплавов
5	Исследование электропроводности полупроводников
6	Исследование электропроводности твердых диэлектриков
7	Изучение свойств p-n-перехода и перехода металл-полупроводник
8	Исследование диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках
9	Исследование основных свойств ферромагнетиков по петле гистерезиса.
10	Исследование электропроводимости и размерного эффекта в тонких металлических пленках
11	Исследование ВПХ металлов при различных температурах
12	Изучение термоэлектрических явлений в полупроводниках
13	Исследование пробоя p-n-перехода
14	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников
15	Исследование электрической прочности диэлектриков
16	Исследование сегнетоэлектриков
17	Изучение температурной зависимости магнитной проницаемости ферритов. Точка Кюри
18	Исследование параметров полупроводниковых диодов, диодов Шоттки и стабилитронов
19	Исследование статических характеристик биполярных транзисторов в схемах с ОБ и ОЭ
20	Исследование статических характеристик полевого транзистора с управляющим p-n-переходом и МДП – транзистора
21	Изучение логических элементов на основе КМОП и ТТЛ ИМС

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 8 семестре.

Примерная тематика курсовой работы:

- 1 перспективные проводниковые материалы для разводки в ИМС
- 2 нанотрубки
- 3 фуллерены и фуллериды
- 4 перспективные диэлектрические материалы подзатворного диэлектрика в МДП – ИМС.
- 5 новые диэлектрические материалы для изоляции биполярных и МДП – структур.
- 6 материалы молекулярной электроники.
- 7 новые магнитные материалы микроэлектроники и спинотроники.
- 8 расчет тонкопленочных резисторов.
- 9 свойства полупроводниковых материалов на основе $A^{III}B^V$. Применения.
- 10 наноэлектронные приборы.
- 11 органические материалы оптоэлектроники.
- 12 основные технологические операции в микроэлектронике.
- 13 методы формирования топологического рисунка.
- 14 технологические процессы изготовления биполярных структур.
- 15 технологические процессы формирования МОП-структур.
- 16 метод получения наноплёнок
- 17 получение наноэлектронных гетероструктур методы эпитаксии
- 18 ионная – имплантация
- 19 ионно – плазменные методы формирования и обработки наноструктур
- 20 лазерные методы в технологиях наноэлектроники
- 21 зондовые нанотехнологии
- 22 нанолитография
- 23 технологические процессы (ТП) получение кремниевых наноструктур
- 24 углеродных наноструктур
- 25 магнитных и сверх проводящих материалов и структур
- 26 фотонных кристаллов
- 27 структур молекулярной электроники и ДНК-структур
- 28 методы диагностики и анализа наносистем
- 29 ТП изготовление нано транзисторов
- 30 приборов и структур одноэлектроники
- 31 углеродной наноэлектроники
- 32 молекулярной электроники
- 33 спинотроники
- 34 экстремальной электроники
- 35 функциональной электроники
- 36 кванто-размерных структур оптоэлектроники
- 37 основные технологические операции в микроэлектронике.

- 38 физические основы работы пьезоэлектрического преобразователя.
- 39 физические основы работы термопары.
- 40 физические основы работы термоэлектрического модуля.
- 41 физические основы работы биполярного транзистора.
- 42 физические основы работы полевого транзистора.
- 43 физические основы работы тиристора.
- 44 физические основы работы термистора.
- 45 физические основы работы диода Шоттки.
- 46 физические основы работы туннельного диода.
- 47 физические основы работы стабилитрона.
- 48 физические основы работы светодиода.
- 49 физические основы работы фотодиода.
- 50 физические основы работы фоторезистора.
- 51 физические основы работы солнечного элемента.
- 52 физические основы работы датчика Холла.
- 53 физические основы работы генератора Ганна.
- 54 физические основы работы ячеек памяти.
- 55 физические основы работы терморезистора.
- 56 физические основы работы оптоволоконных линий связи.
- 57 физические основы работы сверхпроводящих переключающих элементов.
- 58 физические основы работы пьезоэлектрического преобразователя.

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- Освоение актуальных методов производства различных радиокомпонентов
- Изучение физических принципов работы различных радиокомпонентов
- Рассмотрение перспективных технологий и методов производства радиокомпонентов
- Изучение свойств новейших материалов в производстве радиокомпонентов

Курсовая работа включает в себя изучение студентами материалов по полученным темам и изложение их в виде подробных рефератов.

Учебным планом по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты» не предусмотрено выполнение контрольной работы (контрольных работ).

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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
ОПК-4	знать физико-химические свойства радиоматериалов, основные типы и характеристики современных радиокомпонентов, основные типы измерительного оборудования, приборов и исследовательских установок	Изучение конспекта лекций, активная работа на практических занятиях, выполнение лабораторных работ, ответы на теоретические вопросы при защите лабораторных и курсовых работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить экспериментальные исследования физико-химических свойств радиоматериалов, измерять характеристики современных радиокомпонентов, использовать пакеты прикладных программ для обработки и представления экспериментальных данных	Активное участие в выполнении лабораторных и курсовых работ и их защите	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками проведения физико-химических экспериментов, оценивания и представления их результатов, навыками работы с современным радиоизмерительным оборудованием, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных	Выполнение лабораторных работ, решение конкретных задач, выполнение плана курсовых работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-7	знать стандартные задачи профессиональной деятельности, современные методы исследований свойств радиоматериалов и характеристик радиоэлементов, современные типы информационно-коммуникационные технологии, применяемые для решения задач профессиональной деятельности	Решение стандартных задач профессиональной деятельности, выполнение лабораторных и курсовых работ, применение современных технологий для решения прикладных задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять физико-химические за-	Активная работа на практических занятиях, выполнение	Выполнение работ в срок,	Невыполнение работ в срок,

	коны современного радиоэлектронного материаловедения для решения практических задач, выбирать радиоматериалы для создания современных радиокомпонентов с заданными характеристиками, определять оптимальный состав радиокомпонентов при разработке РЭС конкретной конструкции и назначения	курсовых и лабораторных работ	предусмотренный в рабочих программах	предусмотренный в рабочих программах
	владеть современными информационно-коммуникационными технологиями для решения вышеперечисленных задач, навыками пользования электронными справочными материалами при выборе радиоматериалов и радиокомпонентов при разработке и конструировании РЭС, методами применения современных информационно-коммуникационных технологий при работе с технической документацией на РЭС	Решение прикладных задач в конкретной предметной области с применением современных информационно-коммуникационных технологий, выполнение курсовой работы	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 7 семестре по системе: «зачет», «незачет»; в 8 и 9 семестрах по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачет	Незачет	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-4	знать физико-химические свойства радиоматериалов, основные типы и характеристики современных радиокомпонентов, основные типы измерительного оборудования, приборов и исследовательских установок	Тест	Выполнение теста не ниже 60% правильных ответов	В тесте менее 60% правильных ответов	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	уметь проводить экспериментальные исследования физико-химических свойств радиоматериалов, измерять характеристики современных радиокомпонентов, использовать пакеты прикладных программ для обработки и представления экспериментальных данных	Тест	Выполнение теста не ниже 60% правильных ответов	В тесте менее 60% правильных ответов	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть навыками проведения физико-химических экспериментов, оценивания и представления их результатов, навыками работы с современным радиоизмерительным оборудованием, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных	Тест	Выполнение теста не ниже 60% правильных ответов	В тесте менее 60% правильных ответов	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
ОПК-7	знать стандартные задачи профессиональной деятельности, современные методы исследований свойств радиоматериалов и характеристик радиоэлементов, современные типы информационно-коммуникационные технологии, применяемые для решения задач профессиональной деятельности	Тест	Выполнение теста не ниже 60% правильных ответов	В тесте менее 60% правильных ответов	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь применять физико-химические законы современного радиоэлектронного материаловедения для решения практических задач, выбирать радиоматериалы для создания современных радиокомпонентов с заданными характеристиками, определять оптимальный состав радиокомпонентов при разработке РЭС конкретной конструкции и назначения	Тест	Выполнение теста не ниже 60% правильных ответов	В тесте менее 60% правильных ответов	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть современными информационно-коммуникационными технологиями для решения вышеперечисленных задач, навыками пользования электронными справочными материалами при выборе радиоматериалов и радиокомпонентов при разработке и конструировании РЭС, методами применения современных информационно-коммуникационных технологий при работе с технической документацией на РЭС	Тест	Выполнение теста не ниже 60% правильных ответов	В тесте менее 60% правильных ответов	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

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. Основные элементарные частицы, из которых состоят вещества:

- а) протоны;
- б) молекулы;**
- в) ионы;
- г) нейтроны;
- д) электроны.

2. Реальная прочность кристалла на сдвиг гораздо ниже теоретической прочности кристалла, потому что

- а) в каждый момент времени смещается лишь относительно небольшое количество атомов;
- б) сдвигообразование в кристалле под действием внешней силы представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения;**
- в) модуль сдвига меньше модуля Юнга.

3. Поляризуемостью называют физическую величину, равную:

- а) отношению электрического поля к объему диэлектрика;**
- б) отношению диэлектрической проницаемости к плотности диэлектрика;
- в) отношению электрического момента диэлектрика к его объёму.

4. Подвижностью носителей заряда называют:

- а) отношение средней скорости дрейфа к напряженности электрического поля;
- б) произведение длины свободного пробега и скорости дрейфа;
- в) ускорение носителя заряда, вызванное электрическим напряжением 1 В .**

5. 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.**

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

- а) электрод, к которому движутся носители; - **(2)**
- б) электрод, от которого начинается движение носителей; - **(1)**
- в) область между переходами; - **(4)**
- г) электрод, изменение напряжения на котором, вызывает изменение тока стока I_c – **(3)**

7. Высокотемпературные сверхпроводники:

- а) $\text{BaPb} - x\text{Bi}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.3$);**
- б) $\text{Nb}_3\text{Al}_{1-x}\text{Ge}_x$;**

- в) $\text{YBa}_3\text{Cu}_2\text{O}_7$;
 - г) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$;
 - д) **$\text{Ln}_2\text{Ba}_3\text{Cu}_5\text{O}_{12}$** ;
 - е) Nb_3Sn ;
 - ж) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{F}_2\text{O}_5$.
8. Соединения $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{IV}}$:

- а) **GaAs** ;
- б) SiC ;
- в) GeS ;
- г) **ZnSe** .

9. Углеродные нанотрубки – это:

- а) **углепластики с линейным расположением углеродных волокон**;
 - б) упаковка линейных цепочек углерода;
 - в) протяженные цилиндры, образованные свёрнутыми графитовыми листами.
10. Какие активные диэлектрики Вы знаете?

- а) **сегнетоэлектрики**;
- б) **магнитоэлектрики**;
- в) сверхпроводящая керамика;
- г) пьезоэлектрики;
- д) электреты;
- е) электростаты;
- ж) материалы твердотельных лазеров;
- з) жидкие кристаллы;
- и) **наноэлектрики**.

11. Предельной петлей гистерезиса называется петля, полученная:

- а) **при максимальном H** ;
- б) при индукции насыщения;
- в) при минимальных потерях энергии

13. Материалы с ППГ – это:

- а) монокристаллические магнитные материалы, петля гистерезиса которых имеет коэффициент прямоугольности $K_{\text{пу}} \geq 0,85$;
- б) **поликристаллические магнитные материалы, петля гистерезиса которых имеет коэффициент прямоугольности $K_{\text{пу}} \geq 0,85$** ;
- в) аморфные магнитные материалы, петля гистерезиса которых имеет коэффициент прямоугольности $K_{\text{пу}} \geq 0,5$.

14. Конденсатор – это радиоэлемент, состоящий из:

- а) контакта двух ПП различной проводимости;
- б) **двух металлических обкладок, разделенных диэлектриком**,
- в) металлической и ПП обкладок, разделенных диэлектриком.

15. Химические связи между атомами вещества бывают:

- а) **ионные**;
- б) кристаллические;
- в) **ковалентные**;
- г) металлические;
- д) полимерные;

е) молекулярные.

16. Примеси оказывают существенное влияние на электрические свойства твёрдых тел:

а) повышая электрическое сопротивление полупроводников;

б) понижая электрическое сопротивление металлов;

в) создавая в полупроводниках новые электрические уровни и приводя к появлению примесной проводимости;

г) понижая проводимость металлов.

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

а) заряженных частиц;

б) ионов;

в) электронов;

г) электронов и дырок.

18. 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.

19. Полный ток I , протекающий через р-п-переход равен:

а) $I = I_0$

б) $I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{KT}\right) - 1 \right];$

в) $I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{KT}\right),$

где I_0 – ток неосновных носителей;

e – заряд электрона;

U – внешнее напряжение;

K – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура.

20. 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.

21. Криопроводники — это:

а) материалы, у которых выше $T_{св}$ в сотни и тысячи раз возрастает ρ ;

- б) материалы, у которых появляется проводимость ($\rho = 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) ниже $T_{\text{св}}$;
в) материалы, у которых резко падает ρ (до $10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) в области отрицательных температур;
г) материалы, которые при $T > T_{\text{св}}$ обладают очень низким значением ρ (в сотни и тысячи раз меньшего, чем при комнатной температуре).

22. Приведите примеры некоторых соединений $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$:

- а) **GaP**;
б) CdS;
в) **SiC**;
г) GaAs;
д) **PbTe**;
е) InSb.

23. Кристаллический алмаз используется в РЭА для:

- а) подложек ИМС;
б) силовых приборов;
в) детекторов жестких излучений;
г) **фотоприемников**;
д) **светодиодов**;
е) биосенсоры.

24. К ионным сегнетоэлектрикам относятся:

- а) NaNO_3 ;
б) **BaTiO_3** ;
в) **LiNbO_3** ;
г) KH_2PO_4 ;
д) PbTiO_3 .

25. Магнитная анизотропия – это:

- а) нелинейная зависимость B от H ;
б) **зависимость намагничивания от направления**;
в) зависимость потерь энергии от направления

26. Материалы с ППГ используются в устройствах:

- а) оптоэлектроники;
б) автоматики;
г) связи;
д) **на ПАВ**;
е) вычислительной техники.

27. Конденсаторы бывают:

- а) **постоянные**;
б) непостоянные;
в) регулировочные;
г) **подстроечные**;
д) воздушные;
е) ПП;
ж) **бумажные**;
з) **ситалловые**.

- и) керамические;**
- к) на основе барьера Шоттки;
- л) пленочные;
- м) электролитические;**
- н) стеклоэмалевые.**

28. Структура твердых тел бывает:

- а) полупроводниковая;
- б) монокристаллическая;**
- в) поликристаллическая;**
- г) металлическая;
- д) аморфная;
- е) смешанная.

29. Упрочнение кристаллов связано с необратимостью процессов, вызванным:

- а) перемещением атомов и отдельных частей кристалла друг относительно друга;
- б) увеличением внутренней энергии твердого тела;**
- в) процессом рекристаллизации.

30. Аналитическое выражение закона Ома:

- а) плотность тока J не зависит от напряженности электрического поля E ;
- б) J пропорциональна E ;
- в) J обратно пропорциональна E ;**
- г) J пропорциональна сопротивлению.

31. Как изменяется концентрация носителей заряда с ростом температуры:

- а) не изменяется;
- б) возрастает;**
- в) убывает.

32. Чему равна контактная разность потенциалов U_k в германиевых и кремниевых переходах соответственно:

- а) 0,3–0,4 В; 0,7–0,4 В;
- б) 80–100 В; 10–20 В;
- в) 50–60 мкВ; 100 мВ.**

33. Металлами высокой проводимости являются:

- а) серебро;
- б) молибден;
- в) медь;**
- г) вольфрам;
- д) алюминий.

34. Твердые растворы на основе АПВВ бывают:

- а) растворами внедрения;
- б) растворами замещения;
- в) механическими смесями.**

35. Аморфные полупроводники – это:

- а) аморфные твердые тела с тетраэдрическими связями;**
- б) аморфные металлы;

- в) металлы;
- г) халькогенидные стекла;
- д) органические материалы;
- е) аморфные магнитодиэлектрики;**
- ж) гибридные полимерно-твердотельные материалы (ГПТМ);
- з) стекла, основным компонентом которых являются элементы V группы.

36. Диэлектрики – это материалы, у которых:

- а) есть способность к поляризации;**
- б) 10^{-6} Ом м;
- в) $> 10^{12}$ Ом м;
- г) $\Delta\mathcal{E} = 0.5$ эВ;
- д) $\Delta\mathcal{E} > 3$ эВ.**

37. Монокристаллические пьезоэлектрики:

- а) SiO_2 ;
- б) AlN ;**
- в) ZnO ;
- г) LiNbO_3 ;
- д) NH_4PO_4 .**

38. Магнитомягкие (1) и магнитотвёрдые (2) материалы обладают свойствами:

- а) $H_c < 800$ А/м; - **(1)**
- б) $H_c > 4000$ А/м; - **(2)**
- в) большая; - **(2)**
- г) высокая B_s . – **(1)**

39. Тонкие магнитные пленки (ТМП) – это:

- а) слои магнитного вещества толщиной 0,1 – 1 мкм, нанесенные на немагнитную подложку физическими методами;
- б) тонкие (20-30мкм) магнитные ленты на основе лавсана;**
- в) монокристаллические слои магнитного вещества, толщиной 1-10нм, выращенные на поликристаллической магнитной подложке.

40. Основные электрические параметры конденсаторов:

- а) номинальное значение емкости;**
- б) номинальное значение мощности;**
- в) сопротивление на частоте 1 кГц;**
- г) класс точности;
- д) максимальный ток;**
- е) рабочее напряжение;**
- ж) ТКЕ;
- з) диэлектрическая проницаемость;**
- и) допустимая реактивная мощность;
- к) тангенс угла потерь.**

41. Кристаллическая решетка — это:

- а) решетка, атомы которой проявляют определенную закономерность хотя бы на микроскопических участках;**

- б) решетка, создать которую можно путем трансляции атомного узла по кристаллографическим направлениям;
- в) решетка, которой удобно пользоваться для описания правильной внутренней структуры кристаллов;
- г) решетка, атомы которой расположены в определенном порядке.

42. Тепловая энергия твердого тела складывается:

- а) из коллективного движения в форме упругой волны, охватывающей все частицы кристалла;
- б) из энергии только нормальных колебаний решетки;
- в) только из тепловой энергии свободных электронов.**

43. 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 T .**

44. Как изменяется проводимость полупроводников при увеличении температуры:

- а) возрастает;
- б) не изменяется;
- в) убывает.**

45. Выпрямительный диод – это полупроводниковый прибор:

- а) предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный в силовых цепях, плоскостной с несимметричным р-п-переходом на основе германия или кремния;
- б) предназначенный для получения прямоугольных импульсов, точечный, с плавным р-п-переходом на основе арсенида галлия;
- в) предназначенный для выравнивания АЧХ, плоскостной, с симметричным р-п-переходом на основе кремния;
- г) предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный в силовых цепях, точечный с несимметричным р-п-переходом на основе германия или кремния.**

46. Как различается и маркируется медь по механическим свойствам:

- а) твердая неотожженная (МТ);
- б) твердая отожженная (МТО);
- в) мягкая неотожженная (МНТ);**
- г) мягкая отожженная (МН).

47. Какие полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$ вы знаете:

- а) сульфид цинка;**
- б) сульфид германия;
- в) теллурид германия;**
- г) сульфид кадмия;**
- д) селенид ртути.**

48. Стекла используются в:

- а) лазерах;**

б) электрофотографии;

в) элементах ИМС;

г) переключающих и запоминающих устройствах;

д) фотоумножителях.

49. Диэлектрики бывают:

а) активные;

б) пассивные;

в) магнитные;

г) полупроводниковые.

50. Электретом называют:

а) микрофон;

б) диэлектрик, длительное время сохраняющий поляризацию;

в) диэлектрик, обладающий пьезоэффектом.

51. Ферриты – это:

а) оксидные магнитные материалы;

б) металлокерамика;

в) парамагнетики;

г) ферромагнетики;

52. Магнитострикционные материалы (МСМ) — это ферромагнитные материалы, у которых:

а) меняются размеры при перемагничивании;

б) меняются размеры при воздействии электромагнитного поля;

в) меняются магнитные свойства под влиянием механических напряжений;

г) возникает СВЧ-излучение под влиянием механических напряжений.

53. Конденсаторы применяются для:

а) питания РЭА;

б) разделения переменной и постоянной составляющей тока;

в) выпрямления переменного тока;

г) колебательных контуров и фильтров;

д) накопления электромагнитной энергии;

е) накопления электрической энергии

54. Примесными называют полупроводники, в которых:

а) концентрация примесей меньше 10^{12} м^{-3} ;

б) электрические свойства определяются примесями;

в) можно пренебречь влиянием примесей при комнатной температуре.

55. Теплоемкость твердого тела при постоянном объеме выражает:

а) изменение температуры при увеличении мощности нагревателя на 1Вт;

б) изменение тепловой энергии при изменении температуры тела на 1°C ;

в) изменение спектра нормальных колебаний частиц кристалла;

г) количество тепла, переносимого через единицу площади за 1 с.

56. Удельное сопротивление металлов в интервале температур от комнатных до близких к точке плавления:

а) не зависит от T ;

б) линейно увеличивается с ростом T ;

в) уменьшается с ростом T ;

г) растет экспоненциально при температурах выше комнатных.

57. Фотопроводимость – это:

- а) возникновение электропроводности полупроводника под действием света;**
- б) изменение подвижности носителей под действием рентгеновского излучения;
- в) увеличение электропроводности под действием электромагнитного излучения.

58. 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.

59. Благородные металлы – это:

- а) медь;
- б) олово;**
- в) золото;
- г) платина;**
- д) железо;
- е) палладий;**
- ж) молибден.

60. Какие твердые растворы $A^{II}B^{VI}$ Вы знаете:

- а) $ZnS-CdS$;**
- б) $ZnS-ZnSe$;
- в) $PbS-SnS$;**
- г) $PbTe-SuTe$;**
- д) $CdTe-HgTe$.

61. Стекла используются в:

- а) лазерах;**
- б) электрофотографии;
- в) элементах ИМС;
- г) переключающих и запоминающих устройствах;
- д) фотоумножителях.**

62. К диэлектрическим материалам относятся:

- а) пластмассы;
- б) сплавы;**
- в) неорганические металлы;
- г) магнитодиэлектрики;**
- д) активные диэлектрические материалы;
- е) сверхпроводящая керамика.

63. Материалы твердотельных лазеров:

- а) металлы;
- б) оксиды (α - Al_2O_3 , Y_2O_3);
- в) алмазы;**
- г) алюминаты (YAlO_3);
- д) гранаты ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_3$);
- е) кварц;
- ж) тетратитанаты (BaTi_4O_9);
- з) вольфраматы (CaWO_4);
- и) ниобат (CaNbO_3);
- к) некоторые стекла;**
- л) фториды металлов.

64. Химический состав ферритов:

- а) $\text{MnO-ZnO-Fe}_2\text{O}_3$;
- б) PbTe-SnTe ;
- в) CdHgTe ;
- г) $\text{NiO-ZnO-Fe}_2\text{O}_3$.**

65. Структура ферритов:

- а) объемноцентрированная;
- б) типа алмаза;**
- в) типа шпинели.

66. Резисторы – это:

- а) диэлектрики, покрытые слоем резиста;
- б) сопротивления;**
- в) элементы, обладающие заданным значением электрического сопротивления.

67. Решеткой с базисом называют решетку общего типа:

- а) которую можно построить трансляцией какого-либо узла по трем направлениям;
- б) содержащую частицы только в вершинах элементарной ячейки;
- в) которую можно построить трансляцией нескольких узлов, задаваемых совокупностью базисных векторов.**

68. В диэлектриках перенос теплоты осуществляется:

- а) фононами и электронами;
- б) только фононами;
- в) только электронами.**

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Каждая связь C—C в алмазе имеет энергию

$W_{\text{CB}} = 3,7$ 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) $1,89 \cdot 10^{-22}$ эВ;

г) другое.

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

а) $3,89 \cdot 10^{-8}$ м;

б) $4,2 \cdot 10^{-13}$ м;

в) $3,5 \cdot 10^{-3}$ 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 $\rho = 11,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а $\lambda = 400$ Вт/м·К:

а) 30 Вт/м·К;

б) 60 Вт/м·К;

в) 1000;

г) другое.

9. Известно, что металл кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности, $a = 0,6$ 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 $T=300$ К, если ее удельное сопротивление при этой температуре равно $0,017$ мкОм/м:

а) $2,05 \cdot 10^{-3}$ м;

б) $1,18$ мм;

в) $3,89 \cdot 10^{-8}$ м;

г) другое.

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

а) $3,2$ с;

б) $9,6 \cdot 10^{-4}$ с;

в) $2,24 \cdot 10^{-4}$ с;

г) другое.

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

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. $\beta = \rho_{300}/\rho_{4,2}$:

а) 20 ;

б) $2,87$;

в) 16 ;

г) другое;

14. Температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_{\text{св}}$ для олова в отсутствие магнитного поля равна $3,7$ К, а критическая напряженность магнитного поля $H_{\text{св}}$ 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) $1,87 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

б) 2 мм;

в) $14 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

г) другое.

15. Вычислить, во сколько раз сопротивление R_{ω} медного провода круглого сечения диаметром $d=1 \text{ мм}$ на частоте $f=10 \text{ МГц}$ 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 $T=300 \text{ К}$ 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 $B = 20 \text{ мкм}$ при оптическом возбуждении монохроматическим излучением с интенсивностью $I = 10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, если время жизни неравновесных носителей заряда $\tau = 10 \text{ нс}$, а показатель собственного поглощения кремния надлине 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 $a=50 \text{ мм}$, $b=5 \text{ мм}$ и $\delta=1 \text{ мм}$ помещен в магнитное поле с индукцией $B=0,5 \text{ Тл}$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Под действием напряжения $U_n=0,42 \text{ В}$, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток $I_a=20 \text{ мА}$. Измерения показывают ЭДС Холла $U_H=6,25 \text{ мВ}$. 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 $C_l=5000 \text{ м/с}$, 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) $400 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;

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 $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$.

Е	Г
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 $L = 5$ см. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения, если материал – алюминий, приращение длины образцов **$\Delta L = 24$ мкм**

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

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

α	β
а) $5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;	а) $15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;
б) 10^3;	б) 2;
в) 10^{-6} K^{-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 **$15 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$** .

α_l	Δl
а) $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$;	а) 73,5 см;
б) $2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$	б) 1 мм;

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 стокозатворная 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

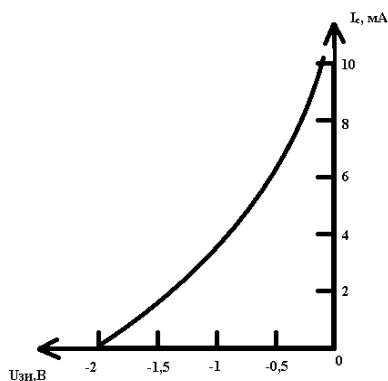


Рис. 1

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

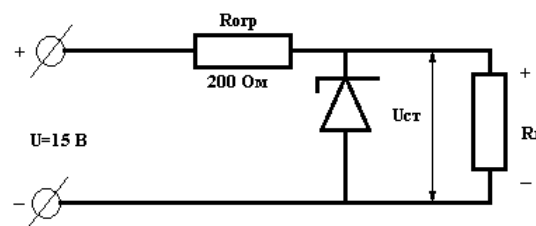


Рис. 2

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

- 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 $N_a > N_d$, при заданных концентрация носителей заряда в р- и п- областях.

$E_{кр} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ В/м}$, $E_{si}=12$, $\mu_n = 1400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, если концентрация натрия $N_a = 10^{19} \text{ см}^{-3}$, концентрация $N_g = 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

$U_{тун}$	$U_{л}$
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 $l=500 \text{ мкм}$ и шириной $b=50 \text{ мкм}$, падение напряжения на резисторе $U=20 \text{ В}$. Оптимальный температурный режим работы ГИС предполагает максимальную мощность рассеивания на резисторе $P=2 \text{ Вт}$. 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 $a=5 \text{ мм}$; $b=3 \text{ мм}$, $\delta = 1 \text{ мм}$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости датчика. Под действием напряжения $U=0.42 \text{ В}$, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток, $I_a = 20 \text{ мА}$. Постоянная Холла датчика $R_H = 6,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$, если перемещение датчика $L = 20 \text{ нм}$, $U_H = 6,5 \text{ мВ}$.

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

15. Для кремниевого варикапа с несимметричным p-n-переходом $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$

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

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 $l=50 \text{ мм}$ приложено напряжения $U=5 \text{ В}$. За 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 p-n-перехода, сформированного в различных полупроводниках при комнатной температуре при за-

данных 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 $n_i = 10^{11} \text{ см}^{-3}$.

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 $\lambda = 900 \text{ нм}$.

а) 1,4 эВ;

б) 10 эВ;

в) 16,8 эВ;

г) другое.

19. При расчете разделительного фильтра акустической системы было получено значение индуктивности $L = 5 \text{ мГн}$. Определите число витков катушки n при использовании стандартного каркаса длиной $l = 50 \text{ мм}$, площадью поперечного сечения каркаса $s = 50 \text{ мм}^2$ 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, $a = 1 \text{ м}$, шириной $b = 5 \text{ см}$ и толщиной $h = 0,25 \text{ мм}$, если диэлектрик — фторопласт, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$.

а) 100 мкФ;

б) 35 мкФ;

в) 1600 пФ;

г) другое

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Основные понятия, определения и положения микро- и нанoeлектроники.
2. Связь электроники и квантовой физики.
3. Этапы развития электроники.
4. Виды химических связей.
5. Структура твердых тел.
6. Кристаллические вещества.
7. Строение полупроводниковых кристаллов.

8. Аморфные вещества.
9. Полимеры.
10. Структуры и свойства пленок.
11. Углеродные наноструктуры.
12. Свойства материалов, определяющих особенности химических связей.
13. Фракталы, их свойства, структуры.
14. Фрактальный подход в микро- и наноэлектронике.
15. Механические свойства твердых тел.
16. Прочность и разрушение твердых тел.
17. Теплоёмкость твердых тел.
18. Теплопроводность твердых тел.
19. Тепловое расширение твердых тел.
20. Диффузия.
21. Основы зонной теории твердых 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 твердых 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 пленки. ЗУ на их основе.
34. Магнитный резонанс и его применение.
35. Основы статистической физики. Плотность числа состояний.
36. Распределение Максвелла-Больцмана и Бозе-Эйнштейна.
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 сверхрешеток.
79. Металлический одноэлектронный транзистор.
80. Спиновый полевой транзистор.
81. Элементы памяти на магнитных моментах ядер.
82. КНИ-транзисторы.
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 наноразмерные устройства

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Механические свойства материалов.
2. Теплофизические свойства.
3. Физические основы теплопроводности радиоматериалов. Основы зонной теории.
4. Проводниковые материалы, классификация.
5. Электропроводимость металлов и сплавов. Зонные диаграммы.
6. Металлы высокой проводимости.
7. Благородные металлы.
8. Тугоплавкие металлы.
9. Силициды тугоплавких и платиновых металлов.
10. Применение тонких металлических пленок для коммутации, контактов и выводов ИМС.
11. Металлические затворы в субмикронных МДП- транзисторах (МДПТ).
12. Применение силицидов для формирования затворов МДПТ.
13. Композиционные проводящие материалы.
14. Сплавы высокого сопротивления.
15. Тонкопленочные резисторы.
16. Углеродистые резистивные материалы.
17. Резистивные оксидные материалы.
18. Материалы толстопленочных резисторов.
19. Сверхпроводящие материалы и проводники.
20. Припои.
21. Проводниковые наноматериалы. Композиты на основе проводящих наночастиц.
22. Углеродные проводниковые наноструктуры.
23. Органические проводящие материалы.
24. Наноразмерные приборы на основе проводниковых наноматериалов.
25. Полупроводниковые (ПП) материалы, классификация.
26. Электропроводимость ПП. Зонные диаграммы.
27. Влияние внешних факторов на электропроводимость ПП.
28. Физические эффекты в ПП.
29. Элементарные полупроводники.
30. Кремний Si.
31. Кремниевые микро- и наноразмерные структуры, аморфный кремний.
32. Микрокристаллические пленки Si.
33. Пористый Si.

34. Структуры Si на изоляторе, Si на сапфире.
 35. Нанокристаллы Si.
 36. Кремниевые нано- волокна, -провода, -трубки.
 37. Применение кремниевых структур.
 38. Германий Ge.
 39. Квантово - размерные структуры и приборы на основе Si и Ge.
 40. ПП соединения. Соединение $A^{IV}B^{IV}$ - Si и Ge.
 41. Карбид кремния SiC.
 42. Соединения $A^{III}B^V$.
 43. Соединения $A^{II}B^{VI}$.
 44. Соединения $A^{IV}B^{VI}$.
 45. Твердые растворы на основе двойных ПП соединений.
 46. Тройные соединения.
 47. Применения ПП соединений.
 48. ПП гетероструктуры.
 49. Кванто- размерные гетероструктуры и приборы на их основе.
 50. Углеродистые ПП материалы и структуры. Карбин. Графит. Графен.
- Лонсдейлит.
51. Алмаз.
 52. Наноалмазы.
 53. Фуллерены.
 54. Углеродные нанотрубки.
 55. Применение углеродных наноструктур.
 56. Аморфные ПП.
 57. Органические ПП материалы. Применение.
 58. Технология получения ПП и ПП структур.
 59. Диэлектрики, классификация.
 60. Электрофизические свойства диэлектриков, зонные диаграммы.
 61. Стекла.
 62. Ситаллы.
 63. Керамика.
 64. Полимеры.
 65. Лаки, эмали, компаунды и клеи.
 66. Материалы для изоляции ИМС.
 67. Диэлектрические пленки для подзатворных диэлектриков в МДП-структурах.
 68. Материалы для межуровневой изоляции в БИС.
 69. Подложки БИС, ГИС, микромодулей.
 70. Диэлектрические пленки для пассивации и защиты бескорпусных ИМС.
 71. Диэлектрики для конденсаторов.
 72. Материалы для диэлектрических резонаторов.
 73. Активные диэлектрики. Сегнетоэлектрики.
 74. Пьезоэлектрики.
 75. Электреты.

76. Применение активных диэлектриков в устройствах функциональной электроники.
77. Материалы твердотельных лазеров.
78. Жидкие кристаллы.
79. Магнитные свойства твердых тел.
80. Классификация магнитных материалов.
81. Природа ферромагнетизма.
82. Процессы при намагничивании ферромагнетиков.
83. Магнитомягкие НЧ- материалы. Железо.
84. Электротехническая сталь.
85. Низкокоэрцитивные высокопроницаемые сплавы.
86. Аморфные магнитные сплавы.
87. Магнитомягкие ВЧ- материалы. Ферриты.
88. Магнитодиэлектрики.
89. Магнитотвердые материалы.
90. Материалы для магнитной записи информации.
91. Ферриты для устройств СВЧ.
92. Материалы с ППГ. Применение.
93. Тонкие магнитные пленки, ЗУ на их основе.
94. Магнитострикционные материалы.
95. Наноструктурированные магнитные материалы. Суперпарамагнетизм.
96. Нанокремниевые и другие новые ферромагнетики.
97. Роль технологических процессов в обеспечении качества элементной базы микроэлектроники (НЭ).
98. Структура технологического процесса, основные технологические операции.
99. Подложки, пассивные тонкопленочные и толстоплёночные элементы – резисторы, проводники, конденсаторы.
100. Технология подгонки резисторов.
101. Материалы для гибридных схем.
102. Технология элементов ПП A^3B^5 . Диоды.
103. Биполярные транзисторы с гетеропереходами A^3B^5 .
104. Полевые транзисторы на A^3B^5 .
105. Современные тенденции формирования A^3B^5 -структур.
106. Переход от микро- к нанотехнологиям. Физические основы нанотехнологий в микро- и нанoeлектронике.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 5 стандартных задач и 5 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Зачет ставится в случае, если студент набрал более 12 баллов.
2. Незачет ставится в случае, если студент набрал менее 12 баллов.

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

3. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
4. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
5. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
6. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
2	Элементы квантовой и статистической физики	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
3	Строение и структура материалов радиоэлектроники	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
4	Общие физические свойства радиоматериалов	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
5	Электропроводимость твердых тел	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам

6	Физические эффекты и явления в полупроводниках	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
7	Диэлектрические свойства твёрдых тел	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
8	Магнитные свойства радиоматериалов	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
9	Переход от микроэлектроники к нанoeлектронике	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
10	Перспективные направления развития электронного материаловедения	ОПК-4, ОПК-7	Тест, зачет, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
11	Общие сведения о радиоматериалах	ОПК-4, ОПК-7	Тест, устный опрос по лекциям и лабораторным работам, КР, экзамен
12	Проводниковые материалы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, устный опрос по лекциям и лабораторным работам, КР, экзамен
13	Полупроводниковые материалы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, устный опрос по лекциям и лабораторным работам, КР, экзамен
14	Диэлектрики	ОПК-4, ОПК-7	Тест, устный опрос по лекциям и лабораторным работам, КР, экзамен
15	Магнитные материалы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, устный опрос по лекциям и лабораторным работам, КР, экзамен
16	Резисторы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
17	Конденсаторы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
18	Катушки индуктивности. Трансформаторы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам

19	Элементы коммутации	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
20	Полупроводниковые диоды	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
21	Биполярные транзисторы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
22	Полевые транзисторы	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
23	Интегральные микросхемы(ИМС)	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
24	Оптоэлектронные радиокомпоненты	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
25	Компоненты наноэлектроники	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам
26	Компоненты функциональной электроники	ОПК-4, ОПК-7	Тест, экзамен, устный опрос по лекциям и лабораторным работам

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 на зачете 30 мин., экзамене 45 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 на зачете 30 мин., экзамене 45 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита лабораторных работ проводится согласно методическим указаниям, примерное время защиты одной работы на одного студента составляет 5 мин.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Чернышов А.В. Радиоматериалы: Ч. 1: Органические и неорганические диэлектрические материалы: учеб. пособие. - Воронеж: ВГТУ, 2007. -187с.
2. Бадаев А.С., Чернышов А.В Радиоматериалы: Ч. 2: Проводниковые, полупроводниковые и магнитные материалы: учеб. пособие. -Воронеж: ВГТУ, 2008. -260с.
3. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: учеб. пособие. - Спб «Лань», 2007. -420с.
4. Бадаев А.С., Чернышов Физические основы микроэлектроники: Ч. 1: Физические свойства твердых тел: учеб. пособие. - Воронеж: ВГТУ, 2011. -255с.
5. Бадаев А.С. Физические основы полупроводников и микроэлектронной техники: учеб. пособие. -Воронеж: ВГТУ, 2009. - 148с.
6. Пасынков В.В. Материалы электронной техники: учебник – Спб «Лань», 2006. -380с.
7. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: учебник. – Спб «Лань», 2002. -480с.
8. Бадаев А.С., Цымбалюк В.С. Радиоматериалы и радиокомпоненты: тестовые задания: учеб. пособие. - Воронеж: ВГТУ, 2013. -99с.
9. Бадаев А.С. Материалы и структуры микро- и наноэлектроники: Ч.1. Проводниковые материалы: учеб. пособие. - Воронеж: ВГТУ, 2015. - 155с.
10. Бадаев А.С. Радиоматериалы и радиокомпоненты. Фонд оценочных средств: учеб. пособие. -Воронеж: ВГТУ, 2017. -199с.
11. Бадаев А.С. Материалы и структуры микро- и наноэлектроники: Ч.2. Полупроводниковые материалы: учеб. пособие. -Воронеж: ВГТУ, 2019. -256с.

12. Бадаев А.С., Чернышов А.В. Методические указания к лабораторным работам №3,4 «Исследование свойств диэлектриков». - Воронеж: ВГТУ, 2006. -26с.
13. Чернышов А.В. Методические указания к лабораторным работам №5,6 «Исследование параметров диэлектрических и магнитных материалов». -Воронеж: ВГТУ, 2007. -28с.
14. Балашов Ю.С., Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам №1-3 «Исследование физических свойств твердых тел». - Воронеж: ВГТУ,2009. -52с.
15. Балашов Ю.С., Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам №4-6 «Исследование физических свойств твердых тел». - Воронеж: ВГТУ,2010. -54с.
16. Балашов Ю.С., Бадаев А.С. Дронов И.А. Методические указания к выполнению курсовой работы «Расчет тонкопленочных резисторов». - Воронеж: ВГТУ, 2010. -17с.
17. Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам №1-2 по дисциплине «Физические основы микро- и нанoeлектроники». - Воронеж: ВГТУ,2014. -51с.
18. Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам №3-6 по дисциплине «Физические основы микро- и нанoeлектроники». - Воронеж: ВГТУ,2014. -49с.
19. Бадаев А.С. Методические указания к лабораторным работам №1-3 по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты». -Воронеж: ВГТУ,2016. -51с.

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

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: “Радиоматериалы и радиокомпоненты”, www.symmetron.ru, www.petrointrade.ru, www.platan.ru, а также каталоги и базы данных фирм “Радиотех-трейд и Farnell (Electroniccomponents)”, поисковые системы – www.rct.ru.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная плакатами и пособиями по профилю.

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Специализированная учебная лаборатория № 228/3, оборудованная лабораторными стендами, модульными учебными комплексами МУК-ФОЭ1 и МУК-РМ1, наглядными пособиями и плакатами для изучения дисциплины «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Физические основы микро- и нанозлектроники», «Материаловедение и материалы РЭС», «Микро- и нанотехнологии производства ЭС»
3. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума.
4. Установки и оборудование базового научного центра, расположенного в ОАО «Концерн «Созвездие», НПО «Корпорация «РИФ».

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

По дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков изучения электрофизических свойств, областей применения современных радиоматериалов, выбора для создания на их основе радиокомпонентов с расчетными характеристиками. Занятия проводятся путем решения задач и выполнения тестовых заданий в аудитории и дома.

Выполнение лабораторных работ необходимо для формирования навыков проведения экспериментальных исследований свойств радиоматериалов и характеристик радиокомпонентов и представления экспериментальных данных с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на зачете и экзаменах.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторные работы	Изучение лекций, рекомендованной литературы методических указаний по выполнению лабораторных работ, технической документации на используемые приборы и стенды, ответы на вопросы домашнего задания к лабораторным работам, выполнение экспериментальной части, оформление отчета, защита работы с ответами на вопросы по теоретической и экспериментальной частям.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях и выполнении лабораторных работ.
Подготовка к экзаменам	При подготовке к экзаменам необходимо изучать конспекты лекций, рекомендуемую литературу, методические указания по выполнению лабораторных работ, решать задачи и выполнять задания курсовой работы.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата вне- сения из- менений	Подпись заведую- щего кафедрой, от- ветственной за реа- лизацию ОПОП