

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП

Д.В. Старов

«4» апреля 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой технологий
материалов и промышленной инженерии
Е.Ю. Степанович

«4» апреля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Материалы электронной техники

Составитель(-и)

Старов Д.В., ст. преподаватель каф. технологии
материалов и промышленной инженерии

Согласовано с работодателями

Язев Б.Б., Генеральный директор ООО СК
«Квадро Айти»;
Кутузов Д.В., доцент кафедры «Связь» АГТУ;

Направление подготовки /
специальность

Направленность (профиль) ОПОП

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Инжиниринг аналоговых и цифровых сложно
функциональных систем

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год приёма

2024

Курс

2

Семестр(ы)

3

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели освоения дисциплины «Материалы электронной техники» является подготовка специалистов, обладающих научно-практическими знаниями в области материаловедения материалов электронной техники, приобретение навыков решения материаловедческих задач, формирование научно обоснованного подхода к изучению свойств материалов электронной техники

1.2. Задачи освоения дисциплины: являются ознакомление студентов: с общей классификацией материалов; физико-химическими, электрическими и оптическими свойствами материалов во взаимосвязи с их применением в электронной технике; основными физическими процессами в материалах электронной техники; примерами реализации полупроводниковых структур в приборах и устройствах электроники; номенклатурой и техническими требованиями, предъявляемыми к материалам электронной техники; основными научно-техническими проблемами, современными достижениями и перспективами развития материаловедения материалов электронной техники; методами исследования материалов и элементов электронной техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Материалы электронной техники» Б1.Б.16 и осваивается в 3 семестре.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами (модулями): Инженерная графика, Безопасность жизнедеятельности, «Физика». Обучающиеся должны приобрести навыки по созданию адекватных физических и математических моделей; проведению вычислений и анализу результатов расчетов при изучении работы элементов электронной техники.

Знания: основных математических, физических положений и законов, методов определения свойств спечаемых и используемых материалов, основ инженерной графики, современного оборудования для производства изделий.

Умения: применять физико-математические методы для проектирования оборудования для производства, разрабатывать и применять конструкторскую документацию, использовать знания для получения изделий требуемого качества.

Навыки: применения стандартных программных средств на базе физико-математических моделей, работы с современными системами компьютерного проектирования.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин (модулей), для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем): в процессе изучения дисциплин «Метрология, стандартизация и сертификация», «Технология материалов электронной техники», «Технология материалов электронной техники» для прохождения производственной практики, написания дипломного проекта по направлению и в будущей профессиональной деятельности.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс освоения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей(их) компетенции(ий) в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки / специальности:

а) общепрофессиональных (ОПК): ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных,

б) профессиональных (ПК): ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства компьютерного моделирования

Таблица 1 – Декомпозиция результатов обучения

Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
		Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ОПК-2	ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	Важнейшие химические понятия и основные законы химии; приемы и методы самостоятельного проведения экспериментальных исследований.	Самостоятельно проводить экспериментальные исследования и учебно-исследовательский эксперимент на основе владения основными приемами техники работ в лаборатории.	Методами самостоятельного проведения экспериментальных исследований и навыками лабораторного исследования, работы с химическими
ПК-1	ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства компьютерного моделирования	Как строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Методами строительства простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2.1. Трудоемкость отдельных видов учебной работы по формам обучения

Вид учебной и внеучебной работы	для очной формы обучения
Объем дисциплины в зачетных единицах	5
Объем дисциплины в академических часах	180
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе (час.):	73
- занятия лекционного типа, в том числе: - практическая подготовка (если предусмотрена)	36
- занятия семинарского типа (семинары, практические, лабораторные), в том числе: - практическая подготовка (если предусмотрена)	36
- консультация (предэкзаменационная)	1
- промежуточная аттестация по дисциплине	
Самостоятельная работа обучающихся (час.)	107
Форма промежуточной аттестации обучающегося (зачет/экзамен), семестр (ы)	Экзамен – 3 семестр.

Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий и самостоятельной работы, для каждой формы обучения представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Контактная работа, час.						КР / КП	СР, час.	Итого часов	Форма текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
	Л		ПЗ		ЛР					
	Л	в т.ч. ПП	ПЗ	в т.ч. ПП	ЛР	в т.ч. ПП				
Семестр 3.										
1. Общие сведения о материалах электронной	7		7					22	36	Опрос Контрольная

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Контактная работа, час.						КР / КП	СР, час.	Итого часов	Форма текущего контроля успеваемости, форма промежуточно й аттестации
	Л		ПЗ		ЛР					
	Л	В т.ч. ПП	ПЗ	В т.ч. ПП	ЛР	В т.ч. ПП				
техники										работа
2. Металлы и сплавы	7		7					22	36	Опрос Контрольная работа
3. Полупроводниковые материалы	7		7					21	35	Опрос Контрольная работа
4. Диэлектрические материалы	7		7					21	35	Опрос Контрольная работа
5. Магнитные материалы	8		8					21	37	Опрос Контрольная работа
Консультации	1									
Контроль промежуточной аттестации										Экзамен
ИТОГО за семестр:	36		36					107	180	
ИТОГО за весь период	36		36					107	180	

Условные обозначения:

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы;
КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа по отдельным темам

Таблица 3 – Матрица соотношения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций

Темы, разделы дисциплины	Кол- во часо в	Компетенции		
		ОПК-2	ПК-1	общее количество компетенций
1. Общие сведения о материалах электронной техники	36	+	+	2
2. Металлы и сплавы	36	+	+	2
3. Полупроводниковые материалы	35	+	+	2
4. Диэлектрические материалы	35	+	+	2
5. Магнитные материалы	37	+	+	2

Краткое содержание дисциплины

1. Общие сведения о материалах электронной техники

Изучение включает классификацию материалов по их свойствам и применениям в электронике. Важные параметры - проводимость, термическая устойчивость, механические характеристики. Обсуждаются основные типы материалов: металлы, полупроводники, диэлектрики и магнитные материалы, а также их роль в создании электронных компонентов.

2. Металлы и сплавы

Металлы играют ключевую роль в электронной технике благодаря своей высокой проводимости и механической прочности. Рассматриваются физические и химические свойства различных металлов, таких как медь и алюминий, а также их сплавы (например, латунь, бронза). Изучаются области применения и технологические процессы обработки.

3. Полупроводниковые материалы

Полупроводники, такие как кремний и германий, обладают уникальными свойствами проводимости, которые изменяются под воздействием температуры, света и примесей. Обсуждаются методы легирования и роль полупроводников в создании диодов, транзисторов и интегральных схем. Рассматриваются современные тренды, включая органические и нанополупроводники.

4. Диэлектрические материалы

Диэлектрики являются изоляторами, которые препятствуют протеканию электрического тока. Изучаются свойства диэлектриков, их использование в конденсаторах и изоляции проводов. Рассматриваются различные виды диэлектриков, включая стекло, керамику и пластмассы, а также их электрические параметры, такие как диэлектрическая проницаемость.

5. Магнитные материалы

Магнитные материалы делятся на ферромагнитные, антиферромагнитные и диамагнитные. Рассматриваются их магнитные свойства и применение в трансформаторах, магнитах и жестких дисках. Обсуждаются характеристики, такие как магнитная проницаемость, коэрцитивная сила и область применения в различных устройствах.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине «Материалы электронной техники»

При подготовке к лекционным занятиям необходимо воспользоваться учебно-методической литературой (основной) из п.8. Лекции необходимо проводить с использованием презентаций, созданных в Microsoft PowerPoint.

При подготовке к лабораторным занятиям необходимо воспользоваться учебно-методической литературой (дополнительной) из п.8.

При разработке учебных программ по ФГОС-3 поколения предполагается использование кроме традиционных форм проведения занятий также активные и интерактивные формы. При этом студенты глубже понимают учебный материал, память также акцентируется на проблемных ситуациях, что способствует запоминанию учебного материала.

В процессе обучения необходимо обращать внимание в первую очередь на те методы, при которых слушатели идентифицируют себя с учебным материалом, включаются в изучаемую ситуацию, побуждаются к активным действиям, переживают состояние успеха и соответственно мотивируют свое поведение. Всем этим требованиям в наибольшей степени отвечают интерактивные методы обучения.

Интерактивные лекционные занятия проводятся в следующей форме.

1. Лекция-беседа

В названном виде занятий планируется диалог с аудиторией, это наиболее простой способ индивидуального общения, построенный на непосредственном контакте преподавателя и студента.

Участие (внимание) слушателей в данной лекции обеспечивается путем вопросно-ответной беседы с аудиторией (постановка проблемного задания).

Вначале лекции и по ходу ее преподаватель задает слушателям вопросы не для контроля усвоения знаний, а для выяснения уровня осведомленности по рассматриваемой проблеме.

Вопросы могут быть элементарными: для того, чтобы сосредоточить внимание, как на отдельных нюансах темы, так и на проблемах.

2. Лекция с элементами обратной связи.

В данном случае подразумевается изложение учебного материала и использование знаний по смежным предметам (межпредметные связи) или по изученному ранее учебному материалу. Обратная связь устанавливается посредством ответов студентов на вопросы преподавателя по ходу лекции. Чтобы определить осведомленность студентов по излагаемой проблеме, в начале какого-либо раздела лекции задаются необходимые вопросы.

Если студенты правильно отвечают на вводный вопрос, преподаватель может ограничиться кратким тезисом или выводом и перейти к следующему вопросу.

Если же ответы не удовлетворяют уровню желаемых знаний, преподаватель сам излагает подробный ответ, и в конце объяснения снова задает вопрос, определяя степень усвоения учебного материала.

Если ответы вновь демонстрируют низкий уровень знаний студентов – следует изменить методику подачи учебного материала.

В форме лекции с элементами обратной связи проводятся занятия, в которых необходимо связать уже имеющиеся знания с излагаемым материалом.

3. Проектная работа

Учебный процесс, опирающийся на использование интерактивных методов обучения, организуется с учетом включенности в процесс познания всех студентов группы без исключения. Совместная деятельность означает, что каждый вносит свой особый индивидуальный вклад, в ходе работы идет обмен знаниями, идеями, способами деятельности. Организуются проектная работа, осуществляется работа с научно-технической документацией. Такие методы основаны на принципах взаимодействия, активности обучаемых, опоре на групповой опыт, обязательной обратной связи. Создается среда образовательного общения, которая характеризуется открытостью, взаимодействием участников, равенством их аргументов, накоплением совместного знания, возможностью взаимной оценки и контроля.

Студенты делятся на 3...4 группы, выдается общее задание, но задаются различные варианты решения задачи, каждая группа анализирует предложенное решение, корректирует его и защищает перед студентами других подгрупп. Преподаватель выполняет роль рецензента. Задание желательно формировать на основе ситуаций, которые рассматривались при проведении нескольких занятий в активной форме. При проведении таких занятий преподаватель должен объяснить студентам значение

компетентного подхода для формирования современного специалиста, сформировать основные компетенции по специальности и показать пути их освоения.

4. Комплекс семинарских и лабораторных работ

Ведущий преподаватель вместе с новыми знаниями ведет участников обучения к самостоятельному поиску. Активность преподавателя уступает место активности студентов, его задачей становится создание условий для их инициативы. Преподаватель отказывается от роли своеобразного фильтра, пропускающего через себя учебную информацию, и выполняет функцию помощника в работе, одного из источников информации.

Студентам выдается список тем практических/семинарских занятий. Каждый студент готовит отчет с элементами анализа литературных источников изучаемой проблемы.

Промежуточная аттестация студентов подразделяется на зачетную, именуемую зачетной неделей, и экзаменационную сессию. Зачеты сдаются в течение одной недели перед экзаменационной сессией. Продолжительность экзаменационных сессий (а их две: зимняя и летняя) в учебном году устанавливается Госстандартом.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Самостоятельная работа студентов – это основной метод самоподготовки по освоению учебных дисциплин и овладению навыками профессиональной и научно-исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов-заочников занимает до 90% бюджета времени, отводимого на освоение образовательной программы, и требует постоянного контроля и корректировки.

Важной частью самостоятельной работы является умение выделить основополагающие, отправные точки в понимании материала. Особо важную роль в этом процессе необходимо уделить конспекту лекций, в котором преподаватель сформировал «скелет», структуру раздела дисциплины. Читанием учебной и научной литературы обучающийся углубляет и расширяет знания о предмете изучения. Основная функция учебников – ориентировать студента в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены будущими специалистами по данной дисциплине.

Подготовка к занятиям лекционного типа подразумевает приобретение обучающимся первичных знаний по теме лекции для подготовки к структуризации объекта изучения, которую преподаватель выполняет на лекции. Изучение материала по теме лекции имеет цель уточнения отдельных моментов.

Перед практическим занятием следует изучить конспект лекции и рекомендованную преподавателем литературу, обращая внимание на практическое применение теории и на методику решения типовых задач.

Данной рабочей программой предусмотрена самостоятельная работа в объеме 266 часов. В соответствии с Положением о самостоятельной работе студентов под самостоятельной работой студентов (далее СРС) понимается «учебная, научно-исследовательская и общественно-значимая деятельность студентов, направленная на развитие общих и профессиональных компетенций, которая осуществляется без непосредственного участия преподавателя, хотя и направляется им».

По дисциплине «Физика» студентам предлагаются следующие формы СРС:

- изучение обязательной и дополнительной литературы;
- выполнение самостоятельных заданий на практических занятиях;
- решение заданных для самостоятельного решения задач;
- участие в подготовке проектов;
- поиск информации по заданной теме в сети Интернет;
- самоконтроль и взаимоконтроль выполненных заданий;
- подготовка к написанию контрольных работ, тестов, сдача экзамена.

Формы контроля: коллоквиумы, тематические тесты, тематические срезы, контрольные работы, отчеты по лабораторным работам.

Дистанционное тестирование

Дистанционное (интерактивное) тестирование проводится с целью подготовки и ознакомления обучающегося с примерными вопросами контрольного тестирования, которое будет проводиться в аудитории.

После завершения изучения на практических и лабораторных работах очередной проводится репетиционное тестирование на едином образовательном портале. Результаты репетиционного дистанционного тестирования могут быть зачтены преподавателем в качестве результата

контрольного тестирования

Подготовка к зачету (экзамену)

Подготовка к зачету предполагает:

- изучение основной и дополнительной литературы;
- изучение конспектов лекций;
- изучение конспектов практических занятий;
- дистанционное тестирование по темам.

Перечень вопросов к зачету представлен в ФОСах. Баллы за зачет выставляются по критериям, представленным в ФОСах.

Главная задача самостоятельной работы студентов – развитие умения приобретать научные знания путем личных поисков, формирование активного интереса и вкуса к творческому, самостоятельному подходу в учебной и практической работе. В процессе самостоятельной работы студент должен научиться понимать сущность предмета изучаемой дисциплины, уметь анализировать и приходиться к собственным обоснованным выводам и заключениям. Все виды учебных занятий основываются на активной самостоятельной работе студентов. Планирование самостоятельной работы студентов-заочников должно начинаться сразу после установочных лекций (от лат. lectio – «чтение» – это одна из основных форм организации учебного процесса, представляющая собой устное, монологическое, систематическое, последовательное изложение преподавателем учебного материала).

Таблица 4 – Содержание самостоятельной работы обучающихся

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Форма работы
1. Общие сведения о материалах электронной техники	22	Опрос Контрольная работа
2. Металлы и сплавы	22	Опрос Контрольная работа
3. Полупроводниковые материалы	21	Опрос Контрольная работа
4. Диэлектрические материалы	21	Опрос Контрольная работа
5. Магнитные материалы	21	Опрос Контрольная работа

5.2. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно

Курсовой проект оформляется в виде пояснительной записки, объемом примерно 30–35 страниц и должен содержать:

— теоретическую часть, в которой излагаются теоретические сведения об исследуемом процессе и проектируемом объекте, формулируются задачи проектирования;

— основную часть, где представлены результаты проектирования радиоэлектронного устройства, прибора, установки, системы, включая необходимые расчеты, графики и результаты моделирования и (или) экспериментальной апробации разрабатываемого объекта или его отдельных узлов (частей);

— заключительную часть с анализом полученных результатов и выводами;

— графическую часть.

Структурно пояснительная записка включает в себя:

— титульный лист;

— задание на курсовой проект;

— содержание;

— введение;

— основные разделы пояснительной записки;

— заключение;

— список использованных источников;

— приложения.

Рекомендуемый состав основных разделов пояснительной записки:

— Описание и анализ исследуемых процессов и радиоэлектронных средств;

— Выбор объекта и определение задач проектирования;

— Патентная проработка предлагаемых технических решений;

— Функциональная и структурная схема объекта проектирования;

— Результаты моделирования проектируемого объекта или его отдельных узлов (частей);

— Расчет и конструирование проектируемого объекта или его отдельных узлов (частей);

— Экспериментальная апробация проектируемого объекта или его отдельных узлов (частей).

Общие требования оформления курсовой работы/доклада/реферата/контрольной работы

Доклад/реферат выполняется на листах писчей бумаги формата А-4 в Microsoft Word; объем: 5-10 страниц текста для доклада, 10-15 страниц текста для реферата (приложения к работе не входят в ее объем). Размер шрифта – 14; интервал – 1,5; с нумерацией страниц сверху страницы посередине, абзацный отступ на расстоянии 2,25 см от левой границы поля. В тексте обязательны ссылки на первоисточники. Количество источников: не менее 5-8 различных источников для доклада, не менее 8-10 для реферата.

Все формулы, единицы измерений, расчеты приводятся и ведутся в системе СИ. При оформлении работы соблюдаются поля:

– левое – 25 мм;

– правое – 10 мм;

– нижнее – 20 мм;

– верхнее – 20 мм

Оформление таблиц:

– Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

– При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы, нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

– Таблицу следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

– На все таблицы должны быть ссылки в реферате. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Оформление иллюстраций:

- Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.
- Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные.
- На все иллюстрации должны быть даны ссылки в реферате.
- Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.
- Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки.
- Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.
- Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 — Схема карты сайта.
- Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А.3.
- При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Приложения

- Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.
- В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа, за исключением справочного приложения «Библиография», которое располагают последним.
- Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение», его обозначения и степени.
- Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.
- Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.
- Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.
- В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.
- Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».
- Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.
- Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Представление.

Письменная работа должна быть представлена в **двух видах**: печатном и электронном.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы по дисциплине могут использоваться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

6.1. Образовательные технологии

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) интерактивном взаимодействии обучающихся и преподавателя в режимах online в формах: видеолекций, лекций-презентаций,

видеоконференции, собеседования в режиме чат, форума, чата, выполнения виртуальных практических и/или лабораторных работ и др.

Максимальный объем занятий обучающегося с применением электронных образовательных технологий не должен превышать 25%

Современное традиционное обучение с помощью учебной книги (цикличное, направленное, ручное) т.е. самостоятельная работа;

Интерактивная лекция: постановка проблемы, разработка способа ее решения и реализация найденного решения.

Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
1. Общие сведения о материалах электронной техники	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
2. Металлы и сплавы	<i>Лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Отчет</i>
3. Полупроводниковые материалы	<i>Лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Отчет</i>
4. Диэлектрические материалы	<i>Лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Отчет</i>
5. Магнитные материалы	<i>Лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Отчет</i>

6.2. Информационные технологии

При изучении дисциплины «Автоматизация сварочных процессов» используется использование виртуальной обучающей среды (LMS Moodle «Цифровое обучение»), созданная в Астраханском государственном университете (АГУ) с 2022 года. Она предоставляет возможность круглосуточного доступа к ресурсам (учебным материалам) курса, на которые подписан студент, его интерактивным действиям (независимо от местонахождения), а преподавателям – платформу для оперативного обнародования выставляемых оценок, важных событий и идей, для информирования студентов об изменениях в учебном процессе. По изучаемой дисциплине на выбранной платформе размещены задания для практических занятий, контрольные и тестовые задания. Платформа позволяет реализовывать как обучающий, так и контрольный режим выполнения заданий.

Также как источник информации широко используются электронные учебники и различные сайты как на договорной основе (смотри п. 6.3), так и находящиеся в свободном доступе.

Интернет и IT технологии широко используются при подготовке лекций, презентаций, практических занятий и пр.

6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 10 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер
Notepad++	Текстовый редактор
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер
Paint .NET	Растровый графический редактор
Scilab	Пакет прикладных математических программ
MathCad 14	Система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением
KOMPAS-3D V21	Создание трёхмерных ассоциативных моделей отдельных элементов и сборных конструкций из них
Blender	Средство создания трёхмерной компьютерной графики
PyCharm EDU	Среда разработки
R	Программная среда вычислений
VirtualBox	Программный продукт виртуализации операционных систем
Autodesk 3ds Max 2021	Профессиональное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и визуализации при создании игр и проектировании.
Autodesk AutoCad 2021	Пакет программ для точного проектирования и цифрового черчения планов, развёрток, схем и виртуальных трёхмерных моделей.
FreeCAD	Программа параметрического трёхмерного моделирования, предназначенная прежде всего для проектирования объектов реального мира любого размера.
CorelDRAW Graphics Suite x6	Надёжное программное решение для графического
Наименование программного обеспечения	Назначение

	дизайна, которое подойдет как начинающим, так и опытным пользователям. Пакет включает в себя среду с обширным контентом и профессиональные приложения для графического дизайна, редактирования фотографий и веб-дизайна.
--	--

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем»: <https://library.asu.edu.ru>.
2. Электронный каталог «Научные журналы АГУ»: <http://journal.asu.edu.ru/>.
3. Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС»: <http://dlib.eastview.com/>
4. Электронно-библиотечная система elibrary. <http://elibrary.ru>
5. Справочная правовая система КонсультантПлюс: <http://www.consultant.ru>
6. Информационно-правовое обеспечение «Система ГАРАНТ»: <http://garant-astrakhan.ru>

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Междисциплинарный комплексный проект» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

Таблица 6 – Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств

Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1. Общие сведения о материалах электронной техники	ОПК-2, ПК-1	1. Вопросы для собеседования 2. Тестовые вопросы для текущего и итогового контроля
2. Металлы и сплавы	ОПК-2, ПК-1	1. Вопросы для собеседования 2. Тестовые вопросы для текущего и итогового контроля
3. Полупроводниковые материалы	ОПК-2, ПК-1	1. Вопросы для собеседования 2. Тестовые вопросы
4. Диэлектрические материалы	ОПК-2, ПК-1	3. Вопросы для собеседования 4. Тестовые вопросы для текущего и итогового контроля

5. Магнитные материалы	ОПК-2, ПК-1	3. Вопросы для собеседования 4. Тестовые вопросы для текущего и итогового контроля
------------------------	-------------	---

Для оценивания результатов обучения в виде **знаний** при изучении дисциплины «Автоматизация сварочных процессов» используются следующие типы контроля:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование (опрос)
- устный отчет в команде по выполненным практическим работам.

Тестовые задания охватывают содержание всего пройденного материала. Индивидуальное собеседование проводится по разработанным вопросам по конкретной теме. Письменная практическая работа проводится в соответствии с методическими рекомендациями по ее выполнению. По завершении практической работы студенты готовят устные ответы на контрольные вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде **умений и владений** используются следующие типы контроля:

- практические работы (далее – ПР), включающие одну или несколько практических заданий в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 7 – Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

Таблица 8 – Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы
4 «хорошо»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание по подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов
Шкала оценивания	Критерии оценивания

2 «неудовлетвор ительно»	не способен правильно выполнить задания
--------------------------------	---

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

Тесты по предмету

Тема 1. Основные характеристики электротехнических материалов.

Низкий уровень учебных достижений

1. Верно ли утверждение, что электротехнические материалы это специальные материалы, из которых изготавливают электрические машины, приборы?

1) да;

2) нет.

2. Верно ли утверждение, что в зависимости от электропроводности материалы делятся на 4 группы: проводники, полупроводники, диэлектрики, магнитные?

1) да;

2) нет.

3. Верно ли утверждение, что характеристики материалов необходимы для оценки их свойств?

1) да;

2) нет.

4. Верно ли утверждение, что надежность работы электрических машин зависит от качества и правильного выбора электротехнических машин?

- 1) да; 2) нет.

Удовлетворительный уровень учебных достижений

5. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указаны электрические характеристики?

- 1) удельное сопротивление, электрическая прочность, ударная вязкость, диэлектрическая проницаемость;
2) удельное сопротивление, электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость, температурный коэффициент удельного сопротивления;
3) удельное сопротивление, электрическая прочность, теплопроводность, диэлектрическая проницаемость;

6. Определите, в каком из вариантов ответов наиболее полно перечислены тепловые характеристики?

- 1) температура вспышки паров, нагревостойкость, теплостойкость;
2) температура плавления, температура размягчения, температура вспышки паров масел;
3) температура плавления, температура размягчения, температура вспышки паров масел, нагревостойкость, теплостойкость, холодостойкость.

7. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указаны физико – химические характеристики?

- 1) кислотное число, вязкость, холодостойкость, водопоглощение;
2) кислотное число, вязкость, тропическая стойкость, водопоглощение;
3) кислотное число, водопоглощение, тропическая стойкость.

8. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указаны механические характеристики?

- 1) сопротивление, ударная вязкость, прочность на сжатие и растяжение;
2) ударная вязкость, разрушающее напряжение при растяжении, сжатии;
3) ударная вязкость, разрушающее напряжение при изгибе, сжатии и растяжении.

Средний уровень учебных достижений

9. Дополните определение:

напряженность электрического поля характеризует:

- 1) тангенс угла диэлектрических потерь;
2) электрическую прочность;
3) диэлектрическую проницаемость.

10. Дополните определение:

характеристика, определяющая стойкость материала длительно выдерживать допустимую температуру – это...

- 1) холодостойкость;
2) теплостойкость;
3) нагревостойкость.

11. Дополните:

оценкой степени электропроводности материала является...

- 1) общее удельное электрическое сопротивление;
2) удельное электрическое сопротивление;
3) удельное объемное сопротивление.

12. Дополните определение:

пропитывающая способность жидких диэлектриков определяется...

- 1) пористостью;
- 2) текучестью;
- 3) вязкостью.

Достаточный уровень учебных достижений

13. Установите соответствие между названием и формулой механических и физико – химических характеристик:

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1) предел прочности при растяжении | a) $\sigma = \frac{A}{S_0}$ |
| 2) водопоглощение | б) $p = \frac{P}{S_0}$ |
| 3) ударная вязкость | в) $c = \frac{P}{S_0}$ |
| 4) предел прочности при сжатии | г) $W = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \cdot 100\%$ |

14. Установите соответствие между классом нагревостойкости и допустимой температурой:

- | | |
|------|----------|
| 1) A | a) 120°C |
| 2) E | б) 155°C |
| 3) B | в) 105°C |
| 4) F | г) 130°C |

15. Установите соответствие между параметрами материала и единицами их измерения:

- | | |
|--|---------------------|
| 1) электрическая прочность | a) % |
| 2) разрушающее напряжение при изгибе | б) Ом·м |
| 3) водопоглощение | в) $\frac{MB}{m}$ |
| 4) удельное электрическое сопротивление | г) МПа |
| 5) температурный коэффициент удельного сопротивления | д) °C ⁻¹ |

16. Установите соответствие между материалами и значениями удельного электрического сопротивления:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1) проводниковые материалы | a) $\rho = 10^8 - 10^{18}$ Ом·м |
| 2) полупроводниковые материалы | б) $\rho = 10^{-8} - 10^{-6}$ Ом·м |
| 3) диэлектрики | в) $\rho = 10^{-4} - 10^8$ Ом·м |

Высокий уровень учебных достижений

17. Определите какую из характеристик определяют специальными испытаниями?

- 1) *водопоглощение;*
- 2) *температура плавления;*
- 3) *тропикостойкость.*

18. Завершите определение: электрическая прочность с повышением температуры и увеличением толщины диэлектрика

- 1) *уменьшается*
- 2) *увеличивается*
- 3) *не изменяется*

19. Найдите ошибку: при изготовлении электроизоляционных материалов - резины, пластмассы необходимо учитывать

- 1) *холодостойкость*
- 2) *температуру вспышки*
- 3) *нагневостойкость*
- 4) *электрическую прочность*

20. По предложенному перечню определить лишний элемент (характеристики электротехнических материалов)

- 1) *вязкость*
- 2) *ударная вязкость*
- 3) *тангенс угла диэлектрических потерь*
- 4) *твёрдость*
- 5) *удельное электрическое сопротивление*

Тема 2. Диэлектрики.

Низкий уровень учебных достижений

1. Верно ли утверждение, что основное назначение электроизоляционных материалов – это изготовление изоляции токоведущих частей электрических машин?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

2. Верно ли утверждение, что диэлектрики по агрегатному состоянию делятся на 3 группы: жидкие, твердые, газообразные?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

3. Верно ли утверждение, что воздух относится к газообразным диэлектрикам?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

4. Верно ли утверждение, что трансформаторное, кабельное масло получают из нефти?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

5. Верно ли утверждение, что совок – негорючее вещество?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

6. Верно ли утверждение, что чистая дистиллированная вода является диэлектриком?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

7. Верно ли утверждение, что кварцевый песок является основным стеклообразующим веществом?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

8. Верно ли утверждение, что бумагу и картон изготавливают из целлюлозы?

- 1) *да;*
- 2) *нет.*

9. Верно ли утверждение, что на опорах воздушных линий изоляторы изготавливают только из электротехнического фарфора?

- 1) да; 2) нет.

10. Верно ли утверждение, что компаунд в первоначальном состоянии жидкое вещество?

- 1) да; 2) нет.

Удовлетворительный уровень учебных достижений

11. Определите в каком ответе правильно указано назначение трансформаторного масла?

- 1) для изоляции обмоток;
2) для защиты от окружающей среды обмоток;
3) для изоляции и охлаждения обмоток.

12. Определите группу жидких диэлектрических материалов из числа предложенных?

- 1) кабельное масло;
2) совтол;
3) ПЭСЖ;
4) капрон;
5) компаунд;
6) гексол.

13. Определите, в каком из ответов правильно указан состав электроизоляционных лаков?

- 1) смола, растворители;
2) отвердители, битум, смола;
3) природные и синтетические смолы.

14. Определите, в каком из ответов правильно указано определение «Асбест»?

- 1) твердое вещество;
2) жидкость;
3) природный минерал, имеющий волокнистое строение.

15. Определите, в каком из ответов правильно указан материал для получения органического стекла?

- 1) метилметакрилат;
2) поливинилхлорид;
3) винипласт.

16. Определите, в каком из ответов правильно указаны пластификаторы пластических масс?

- 1) канифоль;
2) растительное масло;
3) жирные кислоты, льняное масло.

17. Определите из чего состоит неорганическое стекло?

- 1) кварц, глина, вода, калиевый полевой шпат;
2) кварцевый песок, доломит, сода, мел;
3) кварцевый песок.

18. Определите, в каком из вариантов правильно указано к какой группе керамики относится стеатит?

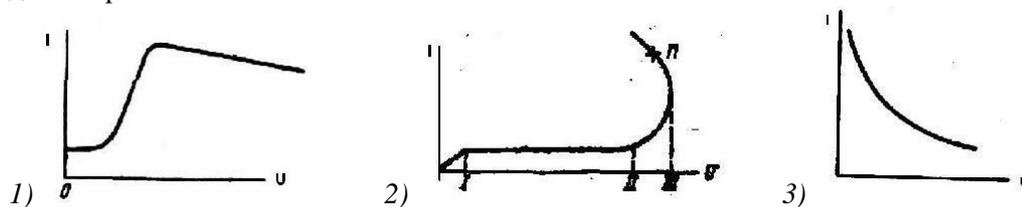
- 1) изоляторная керамика;
2) конденсаторная керамика;
3) сегнетоэлектрическая керамика.

19. Определите, в каком из вариантов правильно указано применение основ лакотканей?
- 1) лента, пряжа;
 - 2) хлопчатобумажные, шелковые, капроновые, стеклянные ткани;
 - 3) искусственные волокна.
20. Определите, в каком из вариантов правильно указано назначение наполнителей в пластических массах?
- 1) для лучшего отделения изделий от прессформ;
 - 2) повышают механическую прочность, уменьшают усадку изготавливаемых изделий;
 - 3) придают стойкость к свету и нагреву.

Средний уровень учебных достижений

21. Какая необходима температура для расплавления кварцевого песка для получения изоляторов?
- 1) около 1350°C ;
 - 2) около 1600°C ;
 - 3) около 2000°C .
22. Какой материал применяется в качестве наполнителя у слоистого материала «текстолит»?
- 1) бумага;
 - 2) хлопчатобумажная ткань;
 - 3) капрон.
23. Какой материал применяется в качестве наполнителя у слоистого материала «гетинакс»?
- 1) бумага;
 - 2) хлопчатобумажная ткань;
 - 3) стеклянная ткань.
24. При какой температуре «асбест плавится»?
- 1) 1200°C ;
 - 2) 1450°C ;
 - 3) 1700°C .

25. Какой из представленных графиков определяет вольтамперную характеристику газообразного диэлектрика?



26. Из какого стекла изготавливают изоляторы высокого напряжения?
- 1) щелочных стекол;
 - 2) малощелочных стекол;
 - 3) бесщелочных стекол.
27. Какие вещества являются пигментами в составе эмалей?
- 1) оксиды металлов;
 - 2) глина;
 - 3) тальк.
28. До какой температуры мусковит не изменяет свои свойства?
- 1) 300°C ;
 - 2) 500°C ;
 - 3) 800°C .
29. Какая целлюлоза придает при изготовлении электроизоляционных бумаг и картонов лучшие электрические свойства?

- 1) *сульфатная;*
- 2) *сульфитная.*

30. Какие волокна получают при изготовлении электроизоляционной бумаги при жирном помоле?

- 1) *длинные и тонкие;* 2) *короткие и толстые.*

Достаточный уровень учебных достижений

31. Установите соответствие между жидкими диэлектриками и их температурой вспышки паров?

- | | |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1) <i>трансформаторное масло</i> | а) <i>200°C</i> |
| 2) <i>кабельное масло</i> | б) <i>135°C</i> |
| 3) <i>совол</i> | в) <i>180°C</i> |
| 4) <i>кремнеорганическая жидкость</i> | г) <i>220°C</i> |

32. Установите последовательность применения оборудования для очистки и сушки трансформаторного масла?

- 1) *электроподогреватель масла;*
- 2) *фильтр – пресс;*
- 3) *теплообменник;*

- 4) *предварительный фильтр;*
- 5) *вакуумный котел;*
- 6) *тара.*

33. Установите соответствие между названием бумаги и ее применением?

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1) <i>кабельная бумага</i> | а) <i>для изготовления гибкой слюдяной ленты</i> |
| 2) <i>пропиточная бумага</i> | б) <i>для изоляции кабелей высокого напряжения</i> |
| 3) <i>крепированная бумага</i> | в) <i>для цилиндров и изоляционных трубок для трансформаторов</i> |
| 4) <i>микалентная бумага</i> | г) <i>в бумажных конденсаторах</i> |
| 5) <i>намоточная бумага</i> | д) <i>для изготовления слоистой пластмассы- гетинакса</i> |
| 6) <i>конденсаторная бумага</i> | е) <i>для изолирования мест соединения обмоток трансформаторов</i> |

34. Установите соответствие между классами нагревостойкости и электроизоляционными материалами:

- | | |
|--------------------|--|
| 1) <i>A- 105°C</i> | а) <i>стеклотекстолит</i> |
| 2) <i>B-130°C</i> | б) <i>стекловолокно</i> |
| 3) <i>F-155°C</i> | в) <i>лакоткани, гетинакс</i> |
| 4) <i>H-180°C</i> | г) <i>материалы на основе слюды, асбеста</i> |

35. Установите соответствие между диэлектрическими материалами и их электрической прочностью:

- 1) *кабельная бумага, пропитанная*

трансформаторным маслом	а) 25	$\frac{MB}{м}$
2) воздух	б) 3	$\frac{MB}{м}$
3) трансформаторное масло	в) 70	$\frac{MB}{м}$
4) флогопит	г) 95	$\frac{MB}{м}$

36. Установите соответствие между маркой материала и техническим материалом:

1) ГФ-95	а) кабельная бумага многослойная
2) ФЭ	б) фибра электротехническая
3) МБК	в) компаунд метакрилбутиловый
4) КМ – 120	г) лакоткань хлопчатобумажная на масляно-битумном лаке
5) ЛХБ – 105	д) глифталевый лак

37. Установите соответствие между составляющими лаков и веществами

1) пластификаторы	а) касторовое масло, жирные кислоты льняного масла
2) сиккативы	б) бензол, спирт, скипидар
3) пленкообразующие вещества	в) природные и синтетические смола
4) растворители	г) канифоль

38. Установите соответствие между газами и их формулой:

1) азот	а) SF ₆
2) углекислый газ	б) CO ₂
3) элегаз	в) N ₂
4) водород	г) H ₂

39. Установите соответствие между жидкими диэлектриками и их температурой замерзания;

1) совол	а) -65°C
2) совтол -2	б) -45°C
3) конденсаторное масло	в) +5°C
4) кремнеорганическая жидкость	г) -40°C

40. Установите соответствие:

1) твердое полимеразационные диэлектрики	а) резольная смола
2) твердые поликонденсационные диэлектрики	б) лавсан
	в) винипласт

- г) *глифталевая смола*
- д) *полиэтилен*
- е) *капрон.*

Высокий уровень учебных достижений

41. Определите по предложенному перечню лишний элемент термопластичных материалов?

- 1) *полиэтилен;*
- 2) *резольная смола;*
- 3) *полиформальдегид;*
- 4) *поливинилхлорид.*

42. Определите по предложенному перечню лишний элемент?

- 1) *фарфор;*
- 2) *фибра;*
- 3) *гетинакс;*
- 4) *фехраль;*
- 5) *полистирол.*

43. Найдите ошибку:

электрические устройства, в которых не используются газы.

- 1) *выключатели воздушные;*
- 2) *разрядники;*
- 3) *измерительные конденсаторы;*
- 4) *силовые трансформаторы.*

44. Найдите ошибку: использование лаков и компаундов для пропитки обмоток приводит к изменению

- 1) *электрической прочности;*
- 2) *механической прочности;*
- 3) *тепловой прочности;*

45. Найдите ошибку: эффективность использования пластификаторов

в составе пластмасс приводит:

- 1) *к повышенной холодостойкости;*
- 2) *к пониженной хрупкости;*
- 3) *к повышенной механической прочности;*

46. По предложенному перечню определить лишний элемент.

- 1) *изоляция проводов;*
- 2) *защитные оболочки шлангов, кабелей;*
- 3) *трубки, лента;*
- 4) *изоляторы, баллоны ламп;*
- 5) *нити накаливания, крючки.*

Тема 3. Проводниковые материалы

Низкий уровень учебных достижений

1. Верно ли утверждение, что проводниковые материалы – это металлы и их сплавы, обладающие хорошей электрической проводимостью?
1) да; 2) нет.
2. Верно ли утверждение, что медь обладает высокой проводимостью?
1) да; 2) нет.
3. Верно ли утверждение, что вольфрам имеет высокую температуру плавления?
1) да; 2) нет.
4. Верно ли утверждение, что проводимость металлов зависит от удельного электрического сопротивления?
1) да; 2) нет.
5. Верно ли утверждение, что проводниковые материалы в зависимости от удельного сопротивления классифицируются на 3 группы?
1) да; 2) нет.
6. Верно ли утверждение, что из проводниковых материалов изготавливают только обмоточные, монтажные установочные провода и кабели.
1) да; 2) нет.

Удовлетворительный уровень учебных достижений

7. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указан металл с наибольшей электрической проводимостью?
1) медь;
2) серебро;
3) алюминий;
4) железо.
8. Определите, в каком ответе правильно указан сплав на основе меди?
1) бронза;
2) сталь;
3) силумин;
4) фехраль.
9. Определите, в каком ответе правильно указаны материалы в качестве проводников, которые применяются в обмоточных проводах?
1) олово, свинец;
2) сталь;
3) медь, алюминий.
10. Определите в каком ответе указаны материалы с большим удельным сопротивлением?
1) вольфрам, молибден;
2) медь, алюминий;
3) марганец, константан.
11. Определите, в каком из ответов правильно указаны сплавы металлов, относящиеся к жаростойким проводниковым материалам?
1) латунь;
2) фехраль;
3) константан.
12. Определите, в каком из ответов правильно указаны компоненты входящие в состав марганца?
1) углерод, кремний;
2) углерод, фосфор;
3) углерод, кремний, фосфор.

- 1) медь, марганец;
- 2) медь, никель;
- 3) медь, марганец, никель.

Средний уровень учебных достижений

13. Какой фактор приводит к монолитности металлокерамических проводниковых материалов?

- 1) спекание изделий из порошкообразной массы;
- 2) заполнение пор тугоплавкого металла частицами более легкоплавких порошков;
- 3) твёрдофазное спекание частиц порошков металла.

14. Какой фактор определяет жаростойкость проводниковых материалов?

- 1) окисляемость сплавов при высоких температурах;
- 2) неокисляемость сплавов при высоких температурах;
- 3) нагрев до высоких температур.

15. Какой фактор определяет достоинство манганиновых изделий?

- 1) электрическое сопротивление мало зависит от температуры;
- 2) большое удельное сопротивление;
- 3) малый температурный коэффициент удельного сопротивления.

16. Каким способом удаляют пористость электроугольных изделий?

- 1) пропитка лаками;
- 2) пропитка воскообразными веществами;
- 3) пропитка расплавленными металлами;
- 4) все перечисленные способы.

17. Каким способом получают электроугольные изделия?

- 1) штамповкой;
- 2) порошковой металлургии;
- 3) литьём;
- 4) ковкой.

18. Какой вид изоляции обмоточных проводов обладает наибольшей нагревостойкостью?

- 1) бумажная изоляция, пропитанная маслом;
- 2) эмалево-волоконистая изоляция из капроновых волокон;
- 3) стекловолоконистая изоляция.

Достаточный уровень учебных достижений

19. Установите соответствие:

- | | |
|---------------|---|
| 1) константан | а) медь 84-86%, никель 2-3%,
марганец 12-13% |
| 2) манганин | б) медь 58-60%, никель 32-40%,
марганец 1-2% |

20. Установите соответствие между видами щёток и их применением в электрических машинах при окружных скоростях:

- | | |
|----------------------|---------------|
| 1) графитные щётки | а) до 90 м/с. |
| 2) угольно-графитные | б) 30-40 м/с. |
| 3) металлографитные | в) 20-35 м/с. |
| 4) электрографитные | г) 10-30 м/с. |

21. Установите соответствие между проводниковыми изделиями и их назначением:

- | | |
|-------------------------|---|
| 1) обмоточные провода | а) для выполнения соединений в электроаппаратах |
| 2) монтажные провода | б) для выполнения внутренних и наружных электропроводок |
| 3) установочные провода | в) для изготовления обмоток электродвигателей |

22. Установите соответствие между металлами, сплавами и их применением;

- | | |
|-------------|-------------------------------------|
| 1) вольфрам | а) электронагревательные приборы |
| 2) серебро | б) жилы проводов, кабелей, шнуров |
| 3) медь | в) контакты в реле, в припоях |
| 4) манганин | г) детали электровакуумных приборов |
| 5) хромаль | д) резисторы, потенциометры |

23. Установите соответствие между сплавами металлов:

- | | |
|----------------|------------------------------------|
| 1) бронза | а) медь с цинком |
| 2) дюралюминий | б) медь с оловом |
| 3) латунь | в) мед, марганец, алюминий, магний |

24. Установите соответствие между проводниковыми материалами и их марками:

- | | |
|---|-----------|
| 1) бронза оловянная с содержанием олова 10% | а) Х15Н60 |
| 2) проволока алюминиевая мягкая | б) АМ |
| 3) нихром с содержанием хрома 15%, и никеля 60% | в) БрО10 |
| 4) проволока медная мягкая | г) ММ |

Высокий уровень учебных достижений

25. Найдите ошибку, алюминиевые провода можно соединять:

- 1) сваркой;
- 2) пайкой;
- 3) пайкой с применением специальных припоев и флюсов;
- 4) опрессовкой.

26. Найдите ошибку, к преимуществам меди в качестве проводникового материала относятся:

- 1) малое удельное сопротивление;
- 2) стойкость к коррозии;
- 3) малая твердость;
- 4) хорошая обрабатываемость.

27. По предложенному перечню определить лишний элемент.

- 1) алюминий;
- 2) медь;
- 3) золото;
- 4) свинец;
- 5) серебро.

Тема 4. Полупроводниковые материалы.

Низкий уровень учебных достижений

1. Верно ли утверждение, что полупроводники занимают промежуточное место по проводимости между проводниками и диэлектриками?
1) да; 2) нет.
2. Верно ли утверждение, что германий, кремний являются полупроводниковыми материалами?
1) да; 2) нет.
3. Верно ли утверждение, что одной из особенностей полупроводниковых материалов является зависимость проводимости от температуры?
1) да; 2) нет.
4. Верно ли утверждение, что р-п переход обладают односторонней проводимостью?
1) да; 2) нет.

Удовлетворительный уровень учебных достижений

5. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указано исходное вещество для получения германия?
1) серная руда;
2) железная руда;
3) цинковая руда.
 6. Определите, в каком из вариантов ответов правильно определен исходный материал для получения карбида кремния?
1) кварцевый песок и кокс;
2) кремнезём;
3) смолы.
 7. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указаны группы полупроводников материалов?
1) полупроводники n-типа;
2) полупроводники p-типа;
3) оба варианта правильны.
 8. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указана электропроводность в примесных полупроводниках за счёт движения электронов?
1) собственная;
2) дырочная;
3) электронная.
 9. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указана электропроводность в примесных полупроводниках р-типа?
1) электронная;
2) дырочная;
3) собственная.
- #### Средний уровень учебных достижений
10. Как изменяется электрическое сопротивление полупроводниковых материалов с повышением температуры?
1) остаётся постоянным;
2) увеличивается;

3) уменьшается.

11. Какой фактор ограничивает проводимость полупроводниковых материалов?

- 1) наличие свободных электронов;
- 2) отсутствие свободных электронов;
- 3) небольшое количество свободных электронов.

12. Что используют для получения электронной или дырочной электропроводности?

- 1) введение примесей;
- 2) нагрев;
- 3) облучение.

Достаточный уровень учебных достижений

13. Установите соответствие между полупроводниками и их применением;

- | | |
|-------------------|-------------------------------|
| 1) германий | а) в вентильных разрядниках |
| 2) селен | б) диоды, фотоэлементы |
| 3) кремний | в) интегральные схемы |
| 4) карбид кремния | г) выпрямители, фоторезисторы |

14. Установите соответствие между понятиями и выполняемой ими операцией:

- | | |
|-------------|---|
| 1) донор | а) примесь, удерживающая электроны |
| 2) акцептор | б) примесь, снабжающая полупроводник свободными электронами |

15. Установите соответствие между полупроводниковыми материалами и их температурой плавления:

- | | |
|-------------------|------------|
| 1) германий | а) 1420° С |
| 2) кремний | б) 937° С |
| 3) селен | в) 217° С |
| 4) карбид кремния | г) 2700° С |

Высокий уровень учебных достижений

16. Найдите ошибку, основным свойством применения полупроводниковых материалов в вентильных разрядниках является:

- 1) с увеличением тока увеличивается напряжение;
- 2) с увеличением тока увеличивается электрическое сопротивление;
- 3) с увеличением тока резко уменьшается электрическое сопротивление.

17. Найдите ошибку: к преимуществам полупроводниковых приборов относят:

- 1) большой срок службы;
- 2) малые габариты;
- 3) зависимость проводимости от внешних воздействий, света, температуры, электрического поля;
- 4) большая механическая прочность.

18. Определите по предложенному перечню лишний элемент.

- 1) солнечные батареи;
- 2) муфты;
- 3) термоэлементы;
- 4) выпрямители;
- 5) варисторы.

Тема 5. Магнитные материалы.

Низкий уровень учебных достижений

1. Верно ли утверждение, что магнитные материалы это материалы, которые под действием внешнего магнитного поля намагничиваются?

1) да; 2) нет.

2. Верно ли утверждение, что железо является основным магнитным материалом?

1) да; 2) нет.

3. Верно ли утверждение, что в зависимости от сохранения магнитных свойств магнитные материалы делятся на 3 группы?

1) да; 2) нет.

4. Верно ли утверждение, что свойства магнитных материалов оцениваются магнитными характеристиками?

1) да; 2) нет.

5. Верно ли утверждение, что ферриты являются магнитными полупроводниками?

1) да; 2) нет.

Удовлетворительный уровень учебных достижений

6. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указан состав пермаллоев?

- 1) сплав алюминия, железа, кремния;
- 2) сплав железа, никеля;
- 3) железоникельалюминиевый сплав.

7. Определите, в каком из вариантов ответов правильно указан состав альсиферов?

- 1) алюминий, никель, железо;
- 2) алюминий, хром, железо;
- 3) алюминий, кремний, железо.

8. Определите, в каком ответе наиболее полно перечислены магнито-мягкие материалы?

- 1) пермаллои, альсиферы;
- 2) низкоуглеродистые кремниевые стали;
- 3) пермаллои, альсиферы, низкоуглеродистые кремниевые стали.

9. Определите, в каком ответе наиболее полно перечислены магнитотвердые материалы?

- 1) металлокерамические, сплавы на основе железа-алюминия-никеля, высокоуглеродистые стали;
- 2) высокоуглеродистые стали, сплавы на основе благородных металлов;
- 3) мартенситные высокоуглеродистые стали.

10. Определите, в каком ответе наиболее полно перечислены магнитные характеристики магнитных материалов?

- 1) магнитная проницаемость, индукция насыщения, температура Кюри;
- 2) магнитная проницаемость, индукция насыщения, коэрцитивная сила, петля гистерезиса;
- 3) магнитная проницаемость, магнитная индукция.

Средний уровень учебных достижений

11. Какая должна быть магнитная проницаемость, чтобы материал был способен намагничиваться?

- 1) не имеет значения;
- 2) большой величиной;
- 3) величиной малой.

12. Какую петлю гистерезиса имеют магнитомягкие материалы?

- 1) узкую;
- 2) широкую;
- 3) объёмную.

13. Какому виду термообработки подвергают магниты для высокой твёрдости?

- 1) старению;
- 2) закалка и отпуск;
- 3) обжигу.

14. До какой температуры ферриты сохраняют свои магнитные свойства?

- 1) 100°C ;
- 2) 450°C ;
- 3) 653°C .

15. Какой легирующий компонент вводят в мартенситные стали?

- 1) медь;
- 2) олово;
- 3) вольфрам
- ; 4) серебро;
- 5) ниобий.

Достаточный уровень учебных достижений

16. Установите соответствие между магнитными характеристиками и их определением по формуле:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1) магнитная постоянная | а) $B = \mu a H$ |
| 2) магнитная индукция | б) $\mu a = \mu_0 \mu r$ |
| 3) магнитная проницаемость | в) $\mu_0 = \frac{a}{r}$ |

17. Установите соответствие между магнитными характеристиками и их назначением:

- | | |
|----------------------|---|
| 1) температура Кюри | а) напряженность магнитного поля, при которой магнитная индукция равна нулю |
| 2) петля гистерезиса | б) температура, при которой магнитные свойства исчезают |
| 3) коэрцитивная сила | в) изменение магнитного поля от (+H) до (-H) |

18. Установите правильную последовательность керамической технологии получения ферритов:

- 1) размалывание и добавление пластификаторов;
- 2) загрузка исходных оксидов металлов;
- 3) измельчение;
- 4) прессование ферритовых изделий;
- 5) первоначальный обжиг;
- 6) обжиг при высокой $t = 1000-1400^{\circ}\text{C}$;
- 7) прессование брикетов.

19. Установите соответствие между группами магнитных материалов и их характеристикой:

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1) магнитомягкие материалы | а) большая коэрцитивная сила, широкая петля гистерезиса |
| 2) магнитотвёрдые материалы | б) малая коэрцитивная сила, |

Высокий уровень учебных достижений

20. Найдите ошибку: основным недостатком ферритовых изделий является:

- 1) мягкость;
- 2) хрупкость;
- 3) пористость.

21. Найдите ошибку, сердечники трансформаторов, роторов электродвигателей изготавливают:

- 1) из магнитотвёрдых изделий;
- 2) из магнитомягких изделий;
- 3) из магнитомягких ферритов.

22. По предложенному перечню определить лишний элемент.

- 1) сердечники дросселей;
- 2) магнитопроводы;
- 3) контакты;
- 4) магниты;
- 5) сердечники электродвигателей.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Каждый студент выполняет задание в соответствии со своим вариантом (см. таблицу 1). Номер варианта обозначен цифрой номера зачетной книжки.

- 1) Для собственного полупроводника, имеющего определенную температуру определить ширину запрещенной зоны; концентрацию носителей заряда; эффективные плотности состояний; положение уровня Ферми; подвижности носителей заряда; удельное электрическое сопротивление; отношение полного тока, протекающего через полупроводник к дырочному току.
- 2) Для полупроводника p -типа с концентрацией акцепторных примесей N_a определить концентрацию основных и неосновных носителей заряда; положение уровня Ферми; удельное электрическое сопротивление; отношение полного тока, протекающего через полупроводник к дырочному току.
- 3) Для полупроводника n -типа с концентрацией донорных примесей N_d определить концентрацию основных и неосновных носителей заряда; положение уровня Ферми; удельное электрическое сопротивление; отношение полного тока, протекающего через полупроводник к дырочному току.
- 4) Считая, что из полупроводников p - и n -типа изготовлен p - n -переход, определить контактную разность потенциалов; ширину обедненных областей и ширину области пространственного заряда; величину заряда на единицу площади; величину барьерной емкости без внешнего напряжения и при обратном напряжении $U_{обр} \approx -V$; коэффициенты диффузии и диффузионную длину носителей заряда; ток насыщения (обратный ток).
- 5) Графическая часть. Построить график распределения напряженности электрического поля в области пространственного заряда. Построить вольт-фарадную характеристику перехода. Построить вольт-амперную характеристику перехода. Построить энергетическую диаграмму p - n -перехода с указанием энергетических уровней, контактной разности потенциалов, области пространственного заряда.

Данные для расчета приведены в таблице 1. Параметры полупроводников, необходимые для расчета, сведены в таблице 2.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Вар-т	Материал п/п	Темпера- тура T , К	Концентрация примесей		Площадь пере- хода S , мм ²
			$N_a, \text{м}^{-3}$	$N_d, \text{м}^{-3}$	
1	Si	150	$1 \cdot 10^{19}$	$30 \cdot 10^{20}$	1
2	Ge	160	$2 \cdot 10^{20}$	$29 \cdot 10^{21}$	2
3	GaAs	170	$3 \cdot 10^{19}$	$28 \cdot 10^{20}$	3
4	Si	180	$4 \cdot 10^{20}$	$27 \cdot 10^{21}$	4
5	Ge	190	$5 \cdot 10^{19}$	$26 \cdot 10^{20}$	5
6	GaAs	200	$6 \cdot 10^{20}$	$25 \cdot 10^{21}$	6
7	Si	210	$7 \cdot 10^{19}$	$24 \cdot 10^{20}$	7
8	Ge	220	$8 \cdot 10^{20}$	$23 \cdot 10^{21}$	8
9	GaAs	230	$9 \cdot 10^{19}$	$22 \cdot 10^{20}$	9
10	Si	240	$10 \cdot 10^{20}$	$21 \cdot 10^{21}$	10
11	Ge	250	$11 \cdot 10^{21}$	$20 \cdot 10^{20}$	1
12	GaAs	260	$12 \cdot 10^{20}$	$19 \cdot 10^{21}$	2
13	Si	270	$13 \cdot 10^{21}$	$18 \cdot 10^{20}$	3
14	Ge	280	$14 \cdot 10^{20}$	$17 \cdot 10^{21}$	4
15	GaAs	290	$15 \cdot 10^{21}$	$16 \cdot 10^{20}$	5
16	Si	300	$16 \cdot 10^{20}$	$15 \cdot 10^{21}$	6
17	Ge	310	$17 \cdot 10^{21}$	$14 \cdot 10^{20}$	7
18	GaAs	320	$18 \cdot 10^{20}$	$13 \cdot 10^{21}$	8
19	Si	330	$19 \cdot 10^{21}$	$12 \cdot 10^{20}$	9
20	Ge	340	$20 \cdot 10^{20}$	$11 \cdot 10^{21}$	10
21	GaAs	350	$21 \cdot 10^{21}$	$10 \cdot 10^{20}$	1
22	Si	360	$22 \cdot 10^{20}$	$9 \cdot 10^{21}$	2
23	Ge	370	$23 \cdot 10^{21}$	$8 \cdot 10^{19}$	3
24	GaAs	380	$24 \cdot 10^{20}$	$7 \cdot 10^{21}$	4
25	Si	390	$25 \cdot 10^{21}$	$6 \cdot 10^{19}$	5
26	Ge	400	$26 \cdot 10^{20}$	$5 \cdot 10^{21}$	6
27	GaAs	410	$27 \cdot 10^{21}$	$4 \cdot 10^{19}$	7
28	Si	420	$28 \cdot 10^{20}$	$3 \cdot 10^{21}$	8
29	Ge	430	$29 \cdot 10^{21}$	$2 \cdot 10^{19}$	9
30	GaAs	440	$30 \cdot 10^{20}$	$1 \cdot 10^{21}$	10

Таблица 2. Основные параметры полупроводниковых материалов

Материал полупроводника		Si	Ge	GaAs
Ширина запрещенной зоны при $T = 0$ К	$\Delta \varepsilon_{g0}$, эВ	1.17	0.744	1.519
Параметры для определения ширины запрещенной зоны	α , эВ/К	$4.73 \cdot 10^{-4}$	$4.774 \cdot 10^{-4}$	$5.405 \cdot 10^{-4}$
	β , К	636	235	204
Параметры для определения подвижности носителей	a_n	2.42	1.66	1.0
	a_p	2.2	2.33	2.1
Подвижности носителей заряда при $T_0 = 300$ К	μ_{0n} , м ² /(В·с)	0.15	0.39	0.85
	μ_{0p} , м ² /(В·с)	0.06	0.19	0.04
Эффективные массы носителей заряда	m_n^*/m_e	1.08	0.56	0.068
	m_p^*/m_e	0.56	0.35	0.45
Диэлектрическая проницаемость	ε	11.8	16.0	13.2
Время жизни носителей заряда	$\tau_{n,p}$, с	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$

Некоторые физические постоянные

Заряд электрона $q = 1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса электрона $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31}$ кг

Постоянная Больцмана $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К = $8.614 \cdot 10^{-5}$ эВ/К

Постоянная Планка $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Диэлектрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Зонная структура полупроводников

Образование энергетических зон в твердых телах происходит при сближении отдельных атомов на очень близкое расстояние. В результате взаимодействия близко расположенных атомов, электронные уровни занимают положения с различными энергиями. Вместо одного уровня образуется целый набор энергетических уровней, отличающихся небольшим значением энергии. Этот набор уровней называют энергетической зоной. Энергетические зоны могут перекрываться (например, в металлах), а могут быть разделены запрещенной зоной (например, в полупроводниках и диэлектриках). Расположение энергетических уровней и зон обычно представляют на энергетической диаграмме, на оси абсцисс которой откладывается пространственная координата, а по оси ординат энергия электронов. Энергетическая диаграмма собственного полупроводника (то есть полупроводника без каких-либо примесей) представлена на рисунке 1. Самая верхняя зона, занятая валентными электронами, называется валентной зоной. Следующая за ней разрешенная зона называется зоной проводимости, поскольку электроны, находящиеся в этой зоне, обуславливают электрическую проводимость полупроводника. Самый верхний энергетический уровень в валентной зоне называется потолком валентной зоны ν_g а самый нижний уровень зоны проводимости — дном зоны проводимости ϵ_c . В полупроводниках при температуре абсолютного нуля все уровни валентной зоны заняты электронами, а в зоне проводимости находятся полностью свободные уровни.

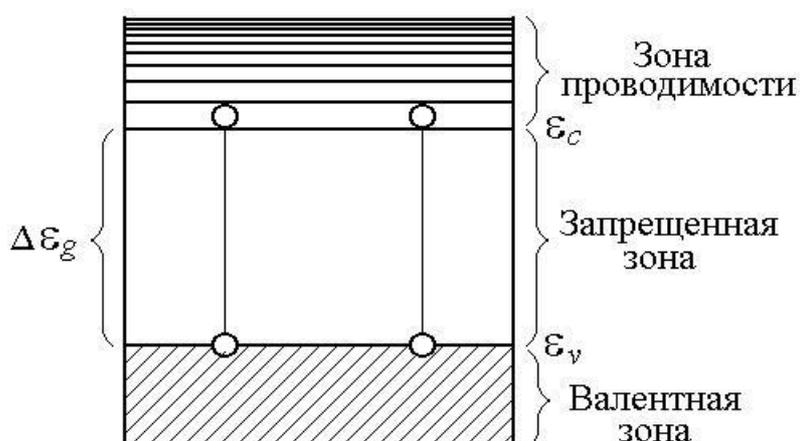


Рисунок 1. Структура энергетических зон для собственного полупроводника

При температуре выше абсолютного нуля тепловое возбуждение приводит к перебросу части электронов из валентной зоны через запрещенную

зону на дно зоны проводимости. По этой причине отсутствие электрона в валентной зоне приводит к появлению положительного заряда в химической ковалентной связи, который характеризуется как положительно заряженная квазичастица – дырка. Следовательно, носителями зарядов в полупроводниках являются электроны в зоне проводимости и дырки в валентной зоне. Движение дырок можно представить как совокупное перемещение электронов валентной зоны.

Процесс образования свободных электронов и дырок под воздействием тепла называют тепловой генерацией. Она характеризуется скоростью генерации G , определяющей количество пар носителей заряда, генерируемых в единицу времени. Помимо тепловой генерации возможна генерация под воздействием света или каких-либо других энергетических воздействий. Возникшие в результате генерации носители заряда находятся в состоянии хаотического движения. Двигаясь хаотически, электроны могут занимать вакантные места в ковалентных связях. Это явление называют рекомбинацией и характеризуют скоростью рекомбинации R , определяющей количество пар носителей заряда, исчезающих в единицу времени.

В равновесном состоянии генерация и рекомбинация протекают с одинаковой скоростью ($R=G$), поэтому в беспримесном полупроводнике устанавливается собственная концентрация электронов, обозначаемая n_i , и собственная концентрация дырок, обозначаемая p_i . Индекс i происходит от англ. intrinsic – собственный. Поскольку электроны и дырки генерируются попарно, то в собственном полупроводнике выполняется условие $n_i p_i = n_i^2$. * Скорость тепловой генерации обратно пропорциональна ширине запрещенной зоны $\Delta\varepsilon_g$ и прямо пропорциональна температуре T . Поэтому чем шире запрещенная зона, тем меньше концентрация собственных носителей заряда.

Энергетический уровень, вероятность нахождения электронов на котором равна $1/2$, называется уровнем Ферми (ε_F). В собственных полупроводниках уровень Ферми располагается вблизи середины запрещенной зоны (ε_i).

Ширина запрещенной зоны в полупроводниках хоть и слабо, но меняется с изменением температуры. Это происходит по двум причинам: из-за изменения амплитуды тепловых колебаний атомов решетки, которое ведет к уменьшению $\Delta\varepsilon_g$ с ростом температуры; из-за изменения межатомных расстояний, т.е. объема тела, благодаря чему $\Delta\varepsilon_g$ может как уменьшаться, так и увеличиваться. Как показывают экспериментальные результаты, ширина запрещенной зоны большинства полупроводников уменьшается с ростом температуры. Температурные зависимости для наиболее распространенных полупроводников Ge, Si и GaAs приведены на рисунке 2.

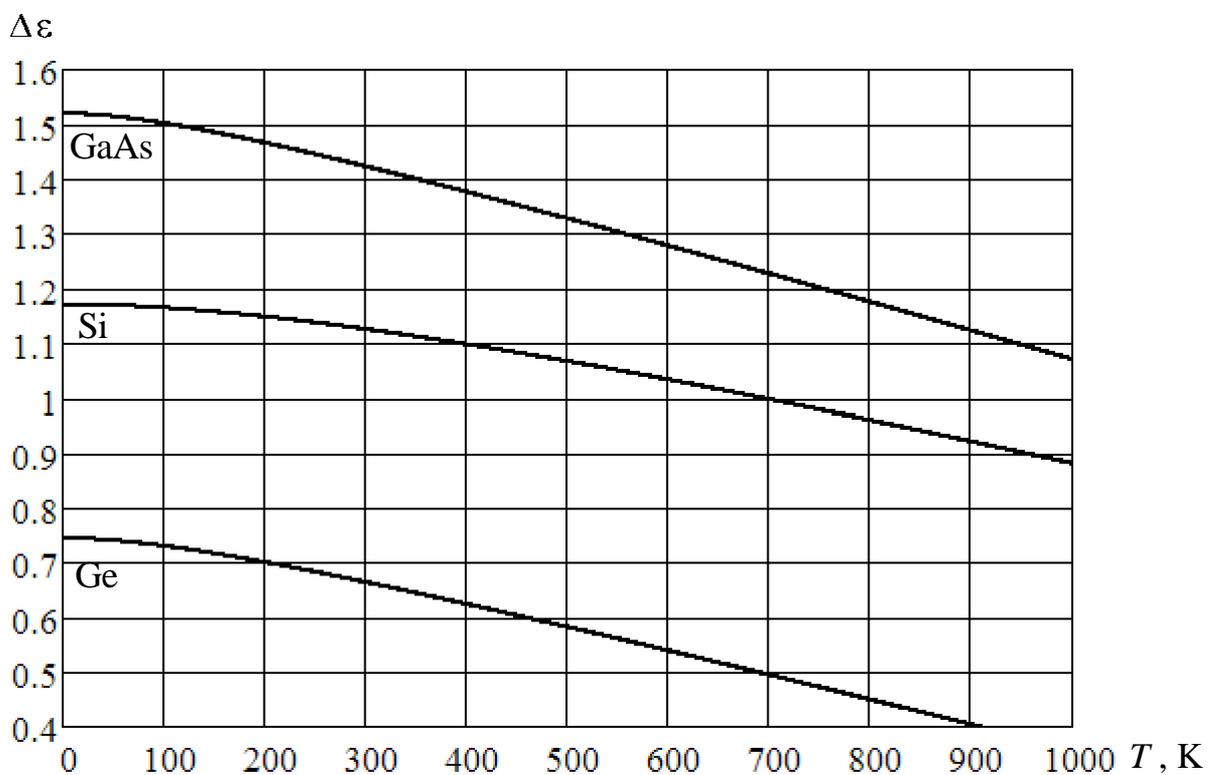


Рисунок 2. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны.

Зависимость $\Delta\varepsilon_g = f(T)$ в этих полупроводниках может быть аппроксимирована универсальной функцией, используя которую можно определить ширину запрещенной зоны полупроводника при любой температуре

$$\Delta\varepsilon_g = \Delta\varepsilon_{g0} - \frac{\alpha T^2}{(T + \beta)} \quad (1)$$

Числовые значения параметров $\Delta\varepsilon_{g0}$, α и β определяются по экспериментальным зависимостям и приведены в таблице 2.

Концентрация подвижных носителей заряда в собственном полупроводнике

В единичном объеме конкретного полупроводника при данной температуре находится определенное количество свободных носителей (электронов и дырок), которое называется концентрацией. Для нахождения концентрации носителей необходимо учесть число имеющихся в разрешенной зоне (зона проводимости для электронов и валентная зона для дырок) свободных энергетических уровней $N(\varepsilon)$, принимая во внимание принцип запрета Паули.

В теории твердого тела показано, что плотность энергетических уровней N (плотность состояний), приходящихся на единичный интервал энергии, зависит от энергии (рис. 3, а):

$$N_c(\epsilon) = \frac{4\pi}{h^3} \cdot \frac{2m_c}{2\pi} \sqrt{\epsilon - \epsilon_c}^{3/2}, \quad (2)$$

$$N_v(\epsilon) = \frac{4\pi}{h^3} \cdot \frac{2m_v}{2\pi} \sqrt{\epsilon_v - \epsilon}^{3/2}. \quad (3)$$

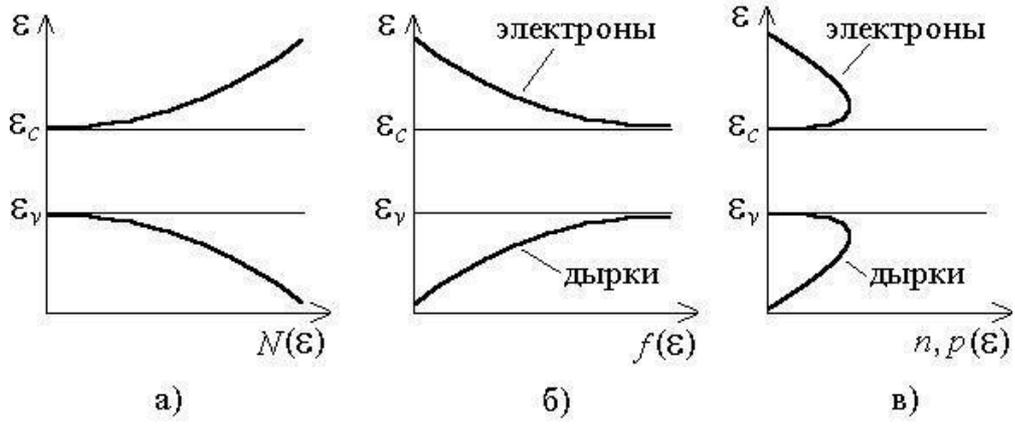


Рисунок 3. Зависимости плотности энергетических состояний (а), вероятностей заполнения уровней свободными носителями (б) и концентраций свободных носителей (в) от энергии в беспримесном полупроводнике

В системах частиц, описываемых антисимметричными волновыми функциями, осуществляется распределение Ферми-Дирака. Этой статистикой описывается поведение систем фермионов (электронов, протонов, нейтронов) – частиц, подчиняющихся принципу Паули и имеющих полуцелый спин ($\pm 1/2$). Вероятность заполнения разрешенных уровней определяется функцией Ферми-Дирака (рис. 3, б), содержащей в качестве параметров состояния температуру и энергию уровня Ферми:

$$f_n(\varepsilon) = \left[1 + \exp\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_F}{kT}\right) \right]^{-1}, \quad (4)$$

$$f_p(\varepsilon) = \left[1 + \exp\left(\frac{\varepsilon_F - \varepsilon}{kT}\right) \right]^{-1}. \quad (5)$$

Если число электронов (или дырок), приходящихся на любой энергетический интервал, меньше числа возможных состояний, то такой полупроводник называется невырожденным. Невырожденными полупроводниками являются нелегированные (беспримесные) и слабо легированные полупроводники. Полупроводники становятся вырожденными при высоких концентрациях примесей, когда число подвижных носителей превышает число возможных состояний. В невырожденных полупроводниках электроны и дырки имеют энергию, значительно отличающуюся от энергии Ферми. Разность

$\varepsilon - \varepsilon_F$, как правило, более чем в три раза превышает значение kT . Поэтому единицей в знаменателях формул (4) и (5) можно пренебречь. Тогда вероятность заполнения энергетических уровней в зоне проводимости будет распределением Максвелла-Больцмана классической статистики:

$$f_n(\varepsilon) \approx \exp\left(-\frac{\varepsilon - \varepsilon_F}{kT}\right), \quad (6)$$

а вероятность возникновения дырки будет равна:

$$f_p(\varepsilon) \approx \exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon}{kT}\right). \quad (7)$$

Энергетическая плотность электронов и дырок равна:

$$n(\varepsilon) \approx N_c(\varepsilon) f_n(\varepsilon), \quad (8)$$

$$p(\varepsilon) \approx N_v(\varepsilon) f_p(\varepsilon). \quad (9)$$

Для определения концентрации электронов и дырок в полупроводнике надо проинтегрировать по энергии энергетическую плотность электронов и

дырок соответственно

$$n = \int_{\varepsilon_c}^{\infty} N_c(\varepsilon) f_n(\varepsilon) d\varepsilon = N_c e^{\exp\left(-\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_F}{kT}\right)}, \quad (10)$$

$$p = \int_0^{\varepsilon_v} N_v(\varepsilon) f_p(\varepsilon) d\varepsilon = N_v e^{\exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_v}{kT}\right)}. \quad (11)$$

Здесь N_c – эффективная плотность состояний в зоне проводимости, а N_v – эффективная плотность состояний в валентной зоне.

$$N_c = \frac{(2\pi m_n^* kT)^{3/2}}{2 h^2}, \quad (12)$$

$$N_v = \frac{(2\pi m_p^* kT)^{3/2}}{2 h^2}. \quad (13)$$

В собственном полупроводнике $n_i = p_i$, следовательно

$$N_c e^{-\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{cF}}{kT}} = N_v e^{-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_v}{kT}} . \quad (14)$$

Логарифмируя и решая относительно ε_F , получаем

$$\varepsilon_F = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} . \quad (15)$$

Величина $\frac{kT}{2} \ln \frac{N_v}{N_c}$ значительно меньше, чем $\frac{\varepsilon_c + \varepsilon_v}{2}$, поэтому уровень Ферми в собственном полупроводнике расположен приблизительно посередине запрещенной зоны.

Концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках

Концентрация равновесных носителей заряда зависит от положения уровня Ферми. В электронном полупроводнике концентрация электронов в основном обусловлена переходом электронов с энергетических уровней доноров (ε_d) на энергетические уровни зоны проводимости. Поэтому концентрация n_n должна быть равна концентрации ионизированных доноров:

$$n_n = N_d (1 - f(\varepsilon_d)) . \quad (16)$$

$1 - f(\varepsilon_d)$ – вероятность отсутствия электрона на уровне ε_d , следовательно

$$n_n = N_d \exp \frac{\varepsilon_d - \varepsilon_F}{kT} . \quad (17)$$

Приравнивая правые части уравнений (10) и (17) получаем:

$$N_c e^{-\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_F}{kT}} = N_d \exp \frac{\varepsilon_d - \varepsilon_F}{kT} . \quad (18)$$

Решая это равенство относительно ε_F получаем выражение

$$\varepsilon_F = \frac{\varepsilon_d + \varepsilon_c}{2} - \frac{kT}{2} \ln \frac{N_c}{N_d} . \quad (19)$$

Из полученного выражения следует, что положение уровня Ферми зависит от температуры и концентрации примеси. Можно показать, что

$$n_n = n_i \exp \frac{\varepsilon_F - \varepsilon_i}{kT} , \quad (20)$$

$$p_n = n_i \exp \left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_i}{kT} \right) . \quad (21)$$

Умножая полученные соотношения друг на друга получим

$$n_p = n_i^2 \quad (22)$$

Таким образом, при любой концентрации примесей произведение концентраций электронов и дырок остается постоянной величиной.

В дырочном полупроводнике концентрация дырок в основном обусловлена переходом электронов с энергетических уровней валентной зоны на энергетический уровень акцепторов. Поэтому концентрация дырок должна быть равна концентрации ионизированных примесей, то есть

$$p_p = N_a \exp\left(-\frac{\varepsilon_a F - \varepsilon}{kT}\right) = n_i \exp\frac{\varepsilon_i - \varepsilon F}{kT}, \quad (23)$$

$$n_p = n_i \exp\left(-\frac{\varepsilon_i F - \varepsilon}{kT}\right). \quad (24)$$

Электропроводность полупроводников

Направленное движение носителей заряда в приложенном электрическом поле представляет собой электрический ток, также называемый дрейфовым током. Учитывая то, что перемещаются как электроны, так и дырки, плотность дрейфового тока можно представить в виде:

$$j_{др} = j_{др.л} + j_{др.р} = q n \mu_n E + q p \mu_p E, \quad \sigma \quad (25)$$

где $\sigma = q n \mu_n + p \mu_p$ – удельная электропроводность полупроводника, μ_n – подвижность электронов и дырок соответственно, q – заряд электрона,

E – напряженность электрического поля.

Для полупроводника n -типа главную роль играет электронная электропроводность, а для полупроводника p -типа главную роль играет дырочная проводимость, поэтому в примесных полупроводниках, как правило, одним из слагаемых можно пренебречь.

Помимо дрейфа подвижных носителей вклад в электрический ток может вносить диффузионное движение носителей. Как известно, диффузия представляет собой направленное перемещение носителей вследствие их неодинаковой концентрации в различных частях кристалла. Плотность тока будет пропорциональна градиенту концентрации подвижных носителей (dn/dx или dp/dx); соответственно плотность диффузионного тока для электронов может быть представлена как:

$$j_{диф.н}(x) = q D_n \frac{dn(x)}{dx}, \quad (26)$$

а плотность диффузионного тока дырок вследствие изменения знака заряда носителей запишется как:

$$j_{\text{диф.}p}(x) = -qD_p \frac{dp(x)}{dx}, \quad (27)$$

где D_n и D_p – коэффициенты диффузии соответственно для электронов и дырок.

Коэффициенты диффузии, подобно подвижностям, характеризующим дрейфовое движение, отражают способность электронов и дырок к перемещению. Связь между коэффициентами диффузии и подвижностями определяется соотношением Эйнштейна:

$$D_n = kT\mu_n / q; D_p = kT\mu_p / q. \quad (28)$$

Таким образом, суммарный электрический ток состоит из четырех составляющих дрейфового электронного и дырочного и диффузионного электронного и дырочного:

$$\begin{aligned} j &= j_{\text{др.}n} + j_{\text{др.}p} + j_{\text{диф.}n} + j_{\text{диф.}p} \\ &= \mu_n n E + \mu_p p E + \frac{dn}{dx} + \frac{dp}{dx}. \end{aligned} \quad (29)$$

Подвижности электронов и дырок в реальных полупроводниках, вследствие процессов рассеяния, ниже подвижностей в кристаллах с идеальной решеткой. В полупроводниках рассеяние носителей заряда происходит в основном на акустических фононах (колебаниях узлов кристаллической решетки) и на ионах примесей. В разных температурных диапазонах будет доминировать тот или иной механизм рассеяния, и он будет определять величину и температурную зависимость подвижности носителей заряда. При низких температурах ($T < 100$ К) характер зависимости подвижности обусловлен рассеянием на ионах примесей. В этом температурном диапазоне подвижность увеличивается с ростом температуры. В области высоких температур ($T > 100$ К) подвижность уменьшается с ростом температуры вследствие рассеяния на акустических фононах и зависимость подвижности носителей заряда от температуры можно представить полуэмпирической моделью

$$\mu(T) = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-a}, \quad (30)$$

где μ_0 – подвижность носителей заряда при $T_0 = 300$ К, a – параметр, определяемый опытным путем. Значения μ_0 и параметра a для различных полупроводников представлены в таблице 2.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1.

Определить концентрацию носителей заряда в собственном германии при температуре 350 К. Данные необходимые для расчета взять из таблицы 2.

Решение.

Полупроводник называется собственным или типа *i* (intrinsic), если в нем отсутствуют какие-либо примеси. В этом случае свободные электроны и дырки образуются попарно только за счет тепловой генерации и рекомбинируют также попарно. Следовательно, в собственном полупроводнике концентрация свободных электронов равна концентрации дырок. Поскольку ширина запрещенной зоны полупроводника зависит от температуры, определим ее, используя зависимость (1):

$$\Delta\varepsilon_{gg^0}(T) = \Delta\varepsilon_{g0} \cdot \frac{-\alpha T^2}{T + \beta}$$

Параметры германия возьмем из таблицы 2: ширина запрещенной зоны при температуре абсолютного нуля $\Delta\varepsilon_{g0} = 0.744$ эВ, параметры $\alpha = 4.774 \cdot 10^{-4}$ эВ/К, $\beta = 235$ К. Для температуры 350 К ширина запрещенной зоны равна:

$$\Delta\varepsilon_g = \Delta\varepsilon_{g0} \frac{\alpha T^2}{T + \beta} = 0.744 \frac{4.774 \cdot 10^{-4} \cdot 350^2}{350 + 235} = 0.644 \text{ эВ.}$$

Концентрация собственных носителей заряда определяется по формулам (10) и (11):

$$n_i = N_C \exp\left(-\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_F}{kT}\right), \quad p_i = N_V \exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_V}{kT}\right).$$

Согласно закону «действующих масс» $n_i p_i = n_i^2$, следовательно, перемножив (10) на (11), получим:

$$\begin{aligned} n_i^2 &= N_C \exp\left(-\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_F}{kT}\right) \cdot N_V \exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_V}{kT}\right) = N_C N_V \exp\left(-\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_V}{kT}\right) = \\ &= N_C N_V \exp\left(-\frac{\Delta\varepsilon_g}{kT}\right), \end{aligned}$$

откуда

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left(-\frac{\Delta\varepsilon_g}{2kT}\right).$$

Определим эффективные плотности состояний в зоне проводимости и в валентной зоне по формулам (12) и (13):

$$N_C = 2 \left(\frac{2 \pi m^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 2 \left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.56 \cdot 9.109 \cdot 10^{-31} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 350}{(6.62 \cdot 10^{-34})^2} \right)^{3/2} = 1.328 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

$$N_V = 2 \left(\frac{2 \pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 2 \left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.35 \cdot 9.109 \cdot 10^{-31} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 350}{(6.62 \cdot 10^{-34})^2} \right)^{3/2} = 6.561 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$$

Зная эффективные плотности состояний можно определить собственную концентрацию носителей заряда в полупроводнике:

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left(-\frac{\Delta \epsilon_g}{2kT}\right) = \sqrt{1.328 \cdot 10^{25} \cdot 6.561 \cdot 10^{24}} \exp\left(-\frac{0.644}{2 \cdot 8.614 \cdot 10^{-5} \cdot 350}\right) = 2.146 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$$

Задача 2.

Определить удельное электрическое сопротивление и отношение полного тока, протекающего через полупроводник к току, обусловленного электронной составляющей в собственном кремнии с концентрацией носителей заряда $n_i = 10^{19} \text{ м}^{-3}$ и подвижностями электронов и дырок $\mu_n = 0.15 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$, $\mu_p = 0.06 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ соответственно.

Решение.

Удельное электрическое сопротивление обратно пропорционально удельной электрической проводимости, которая, согласно (25) равна:

$$\sigma = qn\mu_n + qp\mu_p = qn_i(\mu_n + \mu_p) = 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{19} \cdot (0.15 + 0.06) = 0.336 \text{ См/м},$$

поскольку в собственном полупроводнике $\bar{n} = \bar{p} = n_i$.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{0.336} = 2.972 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Полный ток через полупроводник равен сумме дырочной и электронной составляющих дрейфового и диффузионного токов (29). Так как инжекция и экстракция носителей заряда отсутствуют, то полупроводник находится в равновесном состоянии и диффузионная составляющая тока отсутствует (градиент концентрации носителей заряда равен нулю). Следовательно, полный ток равен дрейфовому току, который, в свою очередь, состоит из дырочной и электронной составляющих:

$$\dot{J} = j_{dp} + j_{dp} = qn\mu_n E + qp\mu_p E,$$

где E – напряженность приложенного электрического поля. Отношение полного тока к электронной составляющей будет равно:

$$\beta = \frac{j}{j_n} = \frac{qn\mu_n E + qp\mu_p E}{qn\mu_n E} = \frac{\mu_n + \mu_p}{\mu_n} = 1 + \frac{\mu_p}{\mu_n} = 1 + \frac{0.06}{0.15} = 1.4$$

Задача 3.

Сравнить положение уровня Ферми для собственного арсенида галлия с эффективной плотностью состояний $N_C = 4 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$, $N_V = 6 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ и GaAs n -типа с концентрацией электронов $n_n = 10^{20} \text{ м}^{-3}$ и дырок $p_n = 10^{14} \text{ м}^{-3}$ при $T=250 \text{ К}$.

Решение.

Определим положение уровня Ферми в собственном полупроводнике. Концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике, согласно (10) и (11) равны

$$n_i = N_C \exp\left(-\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_F}{kT}\right), p_i = N_V \exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_V}{kT}\right).$$

Поскольку в собственном полупроводнике концентрация электронов равна концентрации дырок, приравняем эти выражения и выразим уровень Ферми:

$$\begin{aligned} N_C \exp\left(-\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_F}{kT}\right) &= N_V \exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_V}{kT}\right); \\ \frac{N_C}{N_V} &= \frac{\exp\left(-\frac{\varepsilon_F - \varepsilon_V}{kT}\right)}{\exp\left(-\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_F}{kT}\right)} = \exp\left(-\frac{2\varepsilon_F - \varepsilon_V - \varepsilon_C}{kT}\right); \\ 2\varepsilon_F - \varepsilon_V - \varepsilon_C &= -kT \ln\left(\frac{N_C}{N_V}\right); \\ \varepsilon_F &= \frac{\varepsilon_V + \varepsilon_C}{2} - \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_C}{N_V}\right) = \varepsilon_i - \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_C}{N_V}\right). \end{aligned}$$

Найдем положение уровня Ферми относительно середины запрещенной зоны. Поскольку энергия уровней измеряется в электрон-вольтах (эВ), возьмем постоянную Больцмана $k = 8.614 \cdot 10^{-5} \text{ эВ/К}$, получим:

$$\varepsilon_{Fi} - \varepsilon = -\frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_C}{N_V}\right) = -\frac{8.614 \cdot 10^{-5} \cdot 250}{2} \ln\left(\frac{4 \cdot 10^{23}}{6 \cdot 10^{24}}\right) = 0.029 \text{ эВ}.$$

Следовательно, уровень Ферми в собственном полупроводнике лежит выше середины запрещенной зоны на 0.029 эВ. В полупроводнике n -типа концентрации электронов и дырок, согласно (20) и (21), равны

$$n = n_i \exp\left(\frac{\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i}{kT}\right), p = n_i \exp\left(-\frac{\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i}{kT}\right).$$

Возьмем отношение концентраций и выразим уровень Ферми:

$$\frac{n}{p} = \frac{\exp\left(\frac{\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i}{kT}\right)}{\exp\left(-\frac{\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i}{kT}\right)} = \exp\left(\frac{2(\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i)}{kT}\right);$$

$$2(\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i) = kT \ln\left(\frac{n}{p}\right);$$

$$\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i = \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{n}{p}\right).$$

Найдем положение уровня Ферми относительно середины запрещенной зоны:

$$\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_i = \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{n}{p}\right) = \frac{8.614 \cdot 10^{-5} \cdot 250}{2} \ln\left(\frac{10^{20}}{10^{14}}\right) = 0.149 \text{ эВ}.$$

Следовательно, уровень Ферми в полупроводнике n -типа лежит на 0.149 эВ выше середины запрещенной зоны. Найдем разность между уровнями Ферми в полупроводнике n -типа и собственном полупроводнике

$$\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_F = 0.149 - 0.029 = 0.12 \text{ эВ}.$$

В полупроводнике n -типа уровень Ферми расположен на 0.12 эВ выше уровня Ферми собственного полупроводника.

Задача 4.

Определить концентрацию свободных электронов и дырок в полупроводнике p -типа, если собственная концентрация носителей равна $n_i = 10^{18} \text{ м}^{-3}$, концентрация акцепторных примесей $N_a = 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

Решение.

При достаточно низких температурах в примесных полупроводниках преобладает механизм образования свободных носителей заряда, основанный на ионизации примесных атомов.

Если полупроводник легирован акцепторными примесями, то в первую очередь происходит переход электронов из валентной зоны на акцепторный уровень с образованием дырок в валентной зоне. Образовавшиеся дырки яв-

ляются основными носителями заряда, поскольку их концентрация превышает концентрацию свободных электронов в зоне проводимости. При некоторой температуре все акцепторы становятся ионизированными и концентрация дырок в валентной зоне примерно равна концентрации акцепторных примесей

$$p_p \approx N_a = 10^{20} \text{ м}^{-3}.$$

Такое допущение справедливо, когда генерация носителей заряда по механизму ионизации примесных атомов намного больше тепловой генерации носителей заряда, то есть, когда $n_i \gg N_a$. Остальные случаи будут рассмотрены ниже. Из закона «действующих масс» найдем концентрацию электронов, которые для акцепторного полупроводника являются неосновными носителями заряда

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p} = \frac{(10^{18})^2}{10^{20}} = 10^{16} \text{ м}^{-3}.$$

Задача 5.

Определить концентрацию свободных электронов и дырок в полупроводнике n -типа, если собственная концентрация носителей равна $n_i = 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, концентрация донорных примесей $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$.

Решение.

При высоких температурах в примесных полупроводниках действуют два механизма образования свободных носителей заряда: основанный на ионизации примесных атомов и тепловая генерация носителей заряда.

При легировании полупроводника донорными примесями вначале происходит ионизация этих примесей, то есть электроны с донорного уровня переходят в зону проводимости, в результате чего образуется большое число свободных электронов. После полной ионизации примесей все большую роль начинает играть и тепловая генерация носителей заряда с образованием электронно-дырочных пар. В общем случае в полупроводнике должно выполняться условие электронейтральности, когда положительный заряд ионизированных доноров и дырок скомпенсирован отрицательным зарядом свободных электронов:

$$n = N_d + p.$$

Из закона «действующих масс» выразим концентрацию электронов и подставим в предыдущее выражение

$$n_n = \frac{n^2}{d}, \quad n^2 = N_d + p_n.$$

Составим квадратное уравнение относительно p_n :

$$p_n^2 + N_d p_n - n^2 = 0.$$

Найдем корни уравнения

$$D = N_d^2 + 4n^2,$$

$$p_n = \frac{-N_d - \sqrt{N_d^2 + 4n^2}}{2}.$$

Данный корень не подходит, поскольку концентрация оказывается отрицательной величиной. Следовательно, концентрация неосновных носителей заряда (дырок в полупроводнике n -типа) будет равна:

$$p_n = \frac{-N_d + \sqrt{N_d^2 + 4n^2}}{2} = \frac{20 - \sqrt{(10)^2 + 4 \cdot (5 \cdot 10^{19})^2}}{2} =$$

$$= \frac{-10 + 1.414 \cdot 10^{20}}{2} = 2.071 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

Найдем концентрацию электронов:

$$n_n = \frac{N_d + p_n}{d} = \frac{20 + 2.071 \cdot 10^{19}}{1.207 \cdot 10^{20}} = 1.207 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

Таким способом рационально находить концентрации носителей заряда при условии, что собственная концентрация по порядку близка к концентрации легирующей примеси, то есть, когда $n_i \approx N_d$.

Если собственная концентрация носителей много больше концентрации легирующих примесей, то есть когда $n_i \gg N_d$, то преобладает механизм тепловой генерации и концентрация основных и неосновных носителей заряда примерно равна собственной концентрации.

Задача 6.

Определить контактную разность потенциалов p - n -перехода при комнатной температуре и ширину области пространственного заряда, если переход изготовлен из кремния со следующими параметрами $n_n = 10^{19} \text{ м}^{-3}$, $p_n = 10^{17} \text{ м}^{-3}$, $p_p = 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $n_p = 10^{16} \text{ м}^{-3}$. Построить энергетическую диаграмму p - n -перехода.

Решение.

Контактная разность потенциалов определяется как разность уровней Ферми в полупроводниках с различным типом проводимости.

$$\varphi_K = \frac{\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_{Fp}}{q}$$

Воспользуемся выражением для нахождения уровня Ферми из задачи 3. Комнатную температуру возьмем равной $T = 300$ К

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Fn} &= \varepsilon_i + \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{n_n}{p_p} \right) = \varepsilon_i + \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{2} \ln \left(\frac{10^{19}}{10^{17}} \right) = \varepsilon_i + 9.533 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = \varepsilon_i + 0.06 \text{ эВ} \\ \varepsilon_{Fp} &= \varepsilon_i + \frac{kT}{2} \ln \left(\frac{p_p}{n_n} \right) = \varepsilon_i + \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{2} \ln \left(\frac{10^{16}}{10^{20}} \right) = \varepsilon_i + 1.906 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} = \varepsilon_i - 0.12 \text{ эВ} \\ \varphi_K &= \frac{\varepsilon_{Fn} - \varepsilon_{Fp}}{q} = \frac{kT}{2q} \ln \left(\frac{n_n}{p_p} \right) - \frac{kT}{2q} \ln \left(\frac{p_p}{n_n} \right) = \frac{kT}{2q} \ln \left(\frac{n_n p_p}{p_n n_p} \right) = \\ &= \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{2 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}} \ln \left(\frac{10^{19} \cdot 10^{20}}{10^{17} \cdot 10^{16}} \right) = 0.18 \text{ В} \end{aligned}$$

Область пространственного заряда (ОПЗ) образуется за счет ухода основных носителей заряда через переход во время диффузии. В результате в каждом из полупроводников вблизи перехода образуется область обедненная носителями заряда. Ширина обедненной области определяется выражением:

$$w_p = \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0 (\varphi_K - U)}{q N_a^2 \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right)}}, \quad w_n = \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0 (\varphi_K - U)}{q N_d^2 \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right)}}$$

где ε – диэлектрическая проницаемость полупроводника (для Si $\varepsilon = 11.8$), U – напряжение, приложенное к p - n -переходу.

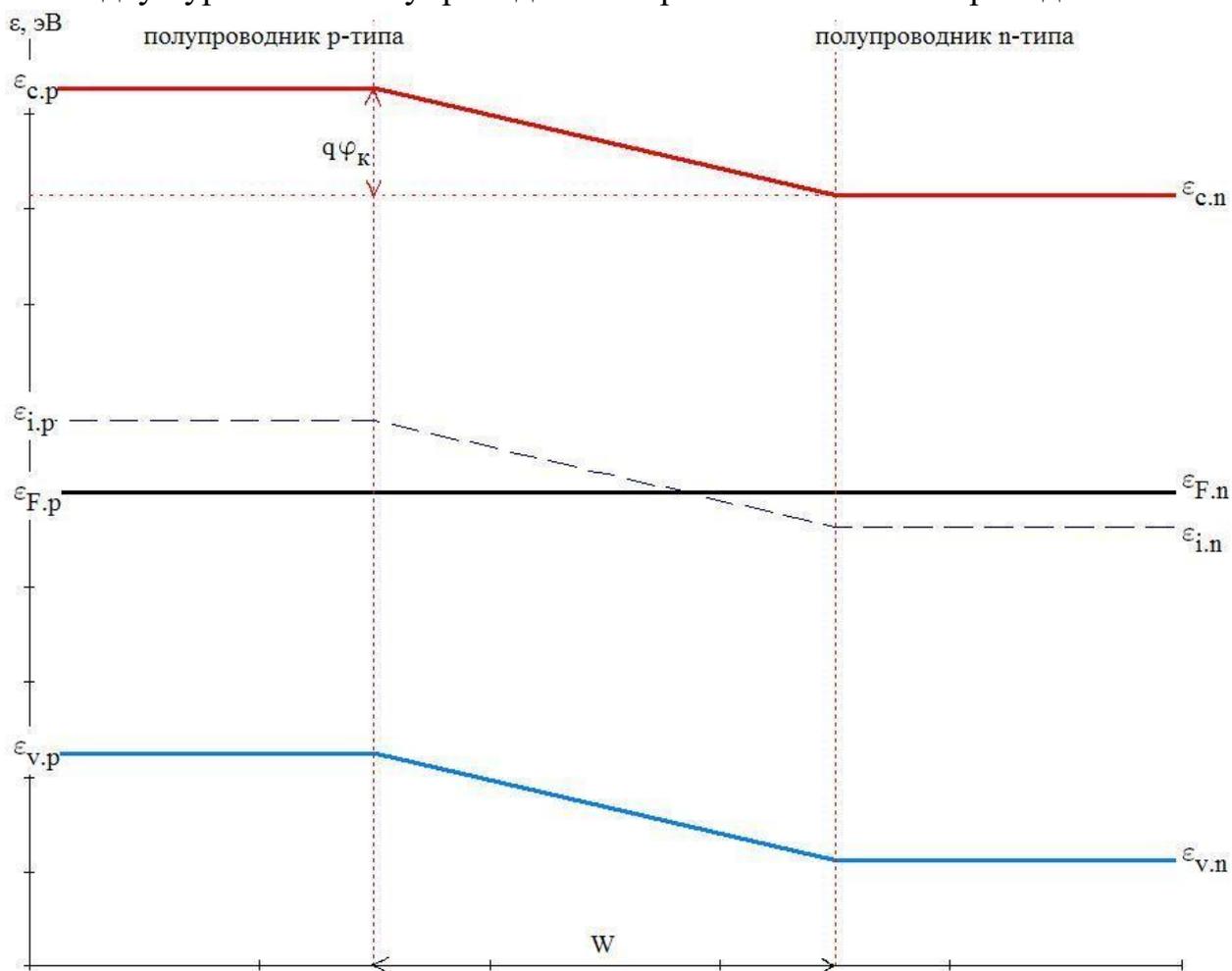
При комнатной температуре все примесные атомы ионизированы, поэтому концентрации основных носителей заряда примерно равны концентрациям донорных и акцепторных примесей. В отсутствие внешнего напряжения ширины обедненных областей будут равны

$$\begin{aligned} W_p &\approx \sqrt{\frac{2 \varepsilon \varepsilon_0 \varphi_K}{q p_p \left(\frac{1}{p_p} + \frac{1}{n_n} \right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 11.8 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 0.179}{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{40} \left(\frac{1}{10^{20}} + \frac{1}{10^{19}} \right)}} = 4.607 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ W_n &\approx \sqrt{\frac{2 \varepsilon \varepsilon_0 \varphi_K}{q n_n \left(\frac{1}{p_p} + \frac{1}{n_n} \right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 11.8 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 0.179}{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{38} \left(\frac{1}{10^{20}} + \frac{1}{10^{19}} \right)}} = 4.607 \cdot 10^{-6} \text{ м}. \end{aligned}$$

Ширина ОПЗ равна сумме обедненных областей

$$W = W_p + W_n = 0.461 \cdot 10^{-6} + 4.607 \cdot 10^{-6} = 5.068 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Построим энергетическую диаграмму p - n -перехода. Для этого сначала отложим уровень Ферми. Он будет идти строго горизонтально, поскольку в равновесном состоянии энергия Ферми в p - и n -полупроводнике выравнивается ($\varepsilon_{Fp} = \varepsilon_{Fn}$). Отметим среднюю часть по оси абсцисс в качестве ОПЗ (W). Далее отложим энергию середины запрещенной зоны (ε_{ip} и ε_{in}). В p -полупроводнике (слева от ОПЗ) она расположена на 0.12 эВ выше уровня Ферми, а в n -полупроводнике (справа от ОПЗ) – ниже уровня Ферми на 0.06 эВ. В ОПЗ соединим середины запрещенных зон i между собой прямой линией. Тангенс угла наклона этой линии пропорционален контактной разности потенциалов. После этого можно отметить дно зоны проводимости (ε_c) в обоих полупроводниках, лежащее выше середины запрещенной зоны на половину ширины запрещенной зоны ($\Delta E \approx 0.56$ эВ), и потолок валентной зоны (ε_v), лежащий ниже середины запрещенной зоны также на половину ее величины (0.56 эВ). Отметим контактную разность потенциалов, как разность двух уровней в полупроводниках с различным типом проводимости.



Задача 7.

Определить величину заряда на единицу площади и построить распределение напряженности внутреннего электрического поля в ОПЗ несимметричного p - n -перехода изготовленного из германия. Известно, что $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $N_a = 4 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $W = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Решение.

Величины заряда на единицу площади по обе стороны перехода равны

$$Q_p = qN_a W_p, Q_n = qN_d W_n.$$

В силу условия электронейтральности, положительные заряды в n -области, образованные ионизированными донорами, должны быть скомпенсированы отрицательными зарядами в p -области, образованные ионизированными акцепторами

$$Q_p = Q_n \Rightarrow qN_a W_p = qN_d W_n \Rightarrow W_p = W \frac{N_d}{N_a}.$$

Подставим ширину обедненной p -области в выражение для ширины ОПЗ, получим

$$W = W_n + W_p = W_n + W_n \frac{N_d}{N_a} = W_n \frac{N_a + N_d}{N_a} \Rightarrow W_n = W \frac{N_a}{N_a + N_d} = 5 \cdot 10^{-6} \frac{4 \cdot 10^{20}}{4 \cdot 10^{20} + 10^{20}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Тогда величина заряда на единицу площади будет равна

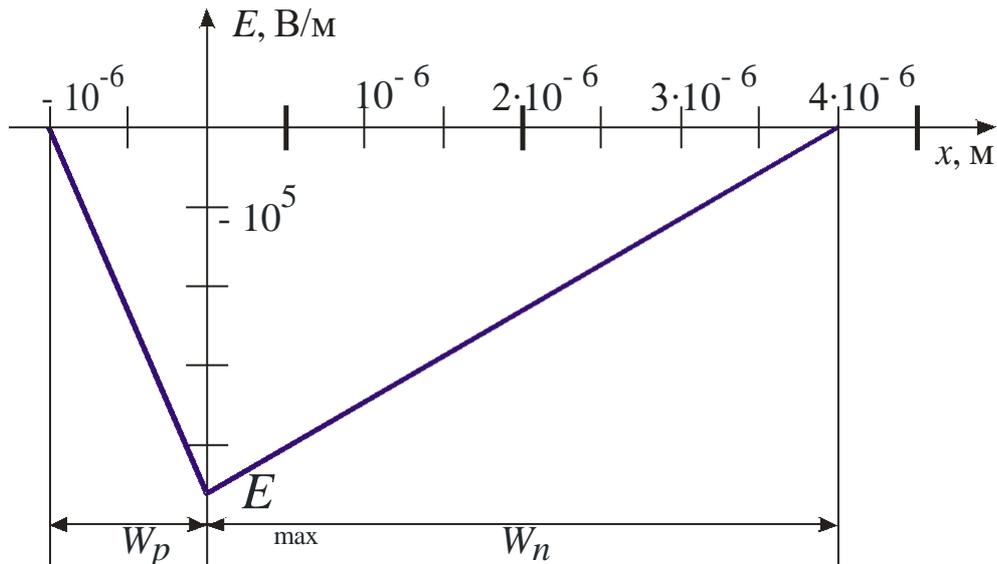
$$Q_n = qN_d W_n = 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{20} \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 6.408 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}.$$

м²

Величина напряженности внутреннего электрического поля максимальна в области перехода (металлургической границы) и линейно убывает по ОПЗ, спадая до нуля на границах ОПЗ. Максимальное значение напряженности электрического поля определяется выражением

$$E_{\text{max}} = - \frac{qN_d W_n}{\epsilon \epsilon_0} = - \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{20} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{8.854 \cdot 10^{-12}} = - 4.523 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Построим распределение напряженности электрического поля в ОПЗ.



Задача 8.

Построить вольт-фарадную характеристику кремниевого $p-n$ -перехода для обратных напряжений, имеющего следующие параметры: $\kappa = 0.6 \text{ ВФ}$, $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $N_a = 4 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, $S = 5 \text{ мм}^2$.

Решение.

Область пространственного заряда можно представить как конденсатор, емкость которого зависит от ширины обедненных областей и плотности объемного заряда. Эта емкость называется барьерной. Поскольку ширина ОПЗ зависит от напряжения, то емкость перехода также зависит от приложенного напряжения. При приложении прямого напряжения к переходу над барьерной емкостью преобладает диффузионная емкость, которая возникает вследствие инжекции основных носителей заряда в противоположные области, в результате чего возникают дополнительные (инжектированные) заряды в области перехода. Эта емкость резко возрастает с повышением приложенного напряжения. При приложении обратного напряжения главную роль играет барьерная емкость, так как в этом случае нет диффузии носителей заряда. Рассмотрим влияние внешнего поля на барьерную емкость. В общем случае выражение для емкости записывается в виде

$$C_{\text{бар}} = \left| \frac{dQ}{dU} \right|.$$

Воспользуемся выражением для определения заряда из предыдущей задачи

$$Q = SqN_d W_n = SqN_d \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0 (\phi_k - U)}{qN^2 \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)}} = S \sqrt{\frac{2q\epsilon\epsilon_0 (\phi_k - U)}{\left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)}};$$

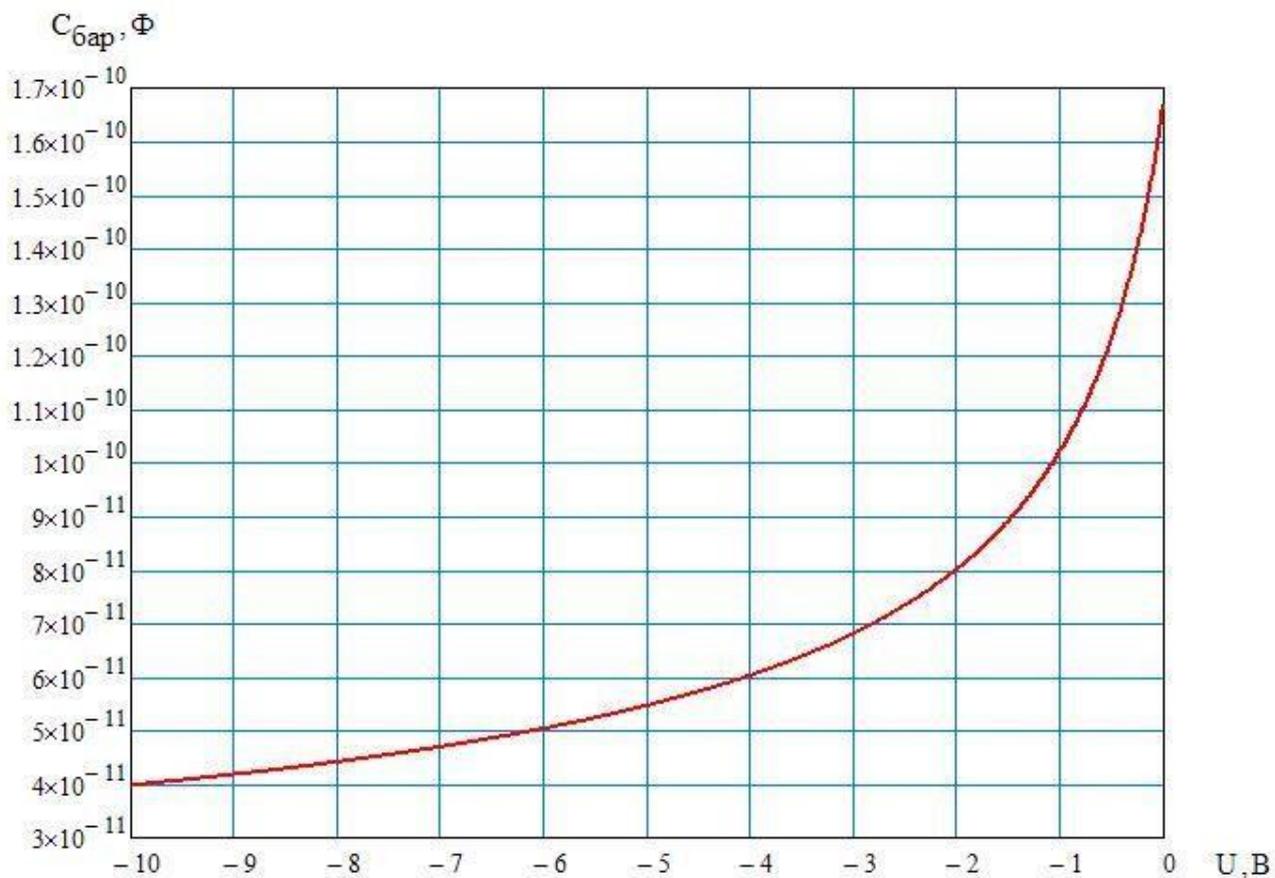
$$\frac{dQ}{dU} = -S \sqrt{\frac{q\epsilon\epsilon_0}{2\left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right) (\phi_k - U)}}$$

Следовательно

$$C_{бар} = \left| \frac{dQ}{dU} \right| = S \sqrt{\frac{q\epsilon\epsilon_0}{2\left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right) (\phi_k - U)}}$$

Построим зависимость барьерной емкости от приложенного напряжения. Это и будет вольт-фарадная характеристика $p-n$ -перехода

$$C_{бар} (U \approx 5 \cdot 10^{-6}) = \sqrt{\frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 11.8 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12}}{\frac{1}{2.4 \cdot 10^{20}} + \frac{1}{10^{20}} (0.6 - U)}} = \sqrt{\frac{1.674 \cdot 10^{-20}}{(0.6 - U)}}$$



Задача 9.

Построить вольт-амперную характеристику кремниевого p - n -перехода, площадью $S = 5 \text{ мм}^2$, при температуре $T = 300 \text{ К}$. Концентрации неосновных носителей заряда равны $p_n = 10^{15} \text{ м}^{-3}$, $n_p = 10^{14} \text{ м}^{-3}$.

Решение.

Вольт-амперная характеристика p - n -перехода описывается уравнением

$$I = I_0 e^{\frac{qU}{kT}} - 1,$$

где I_0 – обратный ток диода, или ток насыщения.

В общем случае, ток через переход состоит из дрейфовой и диффузионной составляющих. Диффузионная составляющая плотности тока описывается уравнением вида

$$j_{\text{диф}} = -qD_p \frac{dp}{dx} + qD_n \frac{dn}{dx},$$

где D_p и D_n – коэффициенты диффузии дырок и электронов соответственно.

Их можно определить, используя соотношение Эйнштейна

$$D_p = \frac{kT}{q} \mu_p = \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1.602 \cdot 10^{-19}} \cdot 0.06 = 1.55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$
$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n = \frac{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1.602 \cdot 10^{-19}} \cdot 0.15 = 3.88 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Диффузионная длина носителей связана с коэффициентом диффузии и временем жизни (из табл. 2) соотношением

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{1.55 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5 \cdot 10^{-3}} = 1.969 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$
$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} = \sqrt{3.88 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5 \cdot 10^{-3}} = 3.114 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

При приложении обратного напряжения, диффузионный ток становится равным нулю и обратный ток равен дрейфовому току $I_0 I_{\text{др}}$, который слабо зависит от приложенного напряжения. Дрейфовый ток обусловлен неосновными носителями заряда. Под действием электрического поля неосновные носители уходят через переход со скоростью дрейфа

$$V_{\text{др}} = \frac{L}{\tau} = \frac{LD}{L^2} = \frac{D}{L}.$$

Поскольку плотность дрейфового тока равна

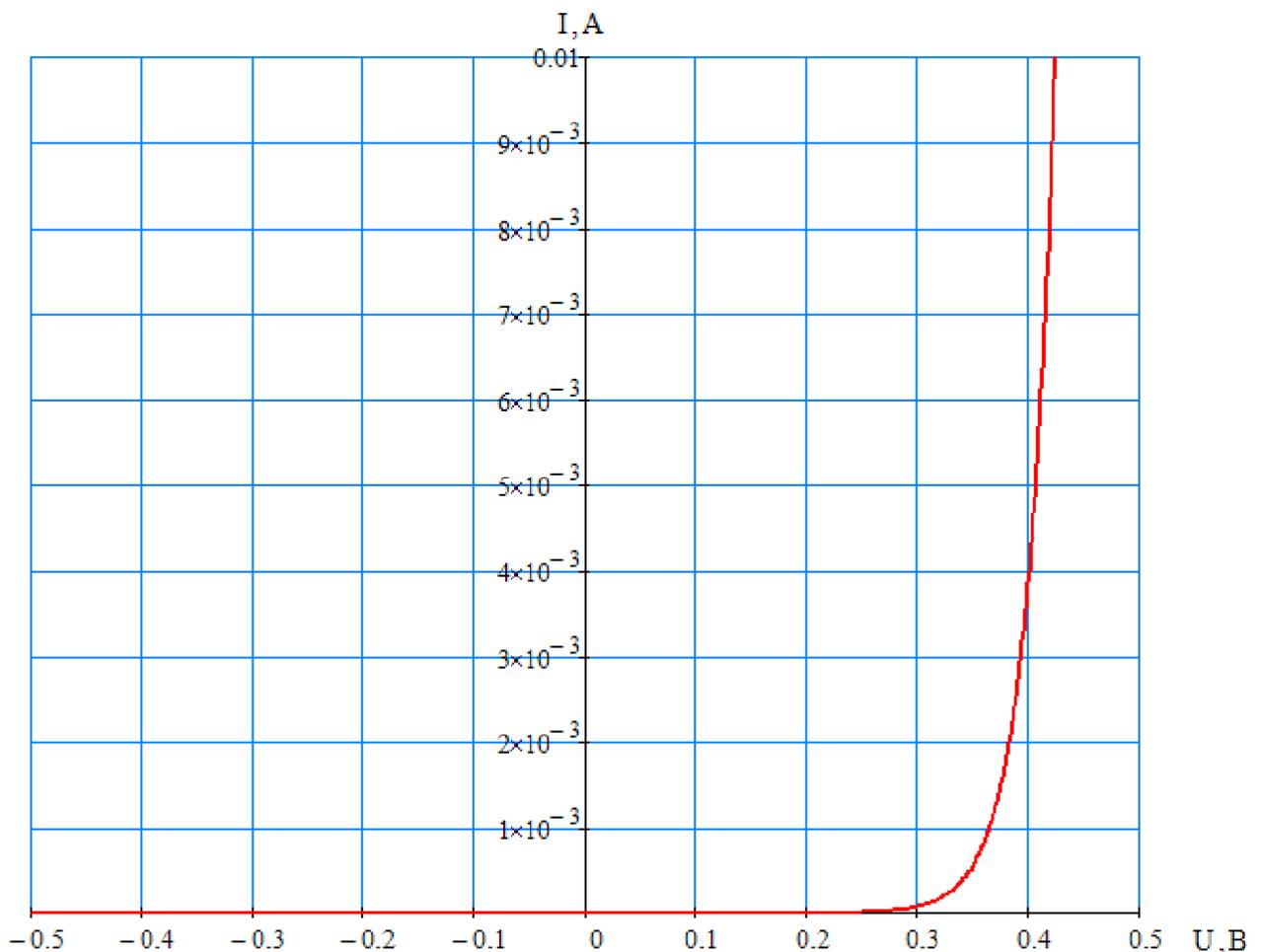
$$j_{\partial p} = j_{\partial p.p} + j_{\partial p.n} = q \left(p V_{n \partial p.p} + n V_{p \partial p.p} \right) \Rightarrow q \left(\frac{D_{pp} p n}{L_p} + \frac{D_{nn} n p}{L_n} \right),$$

а ток связан с плотностью тока соотношением $I = Sj$, то

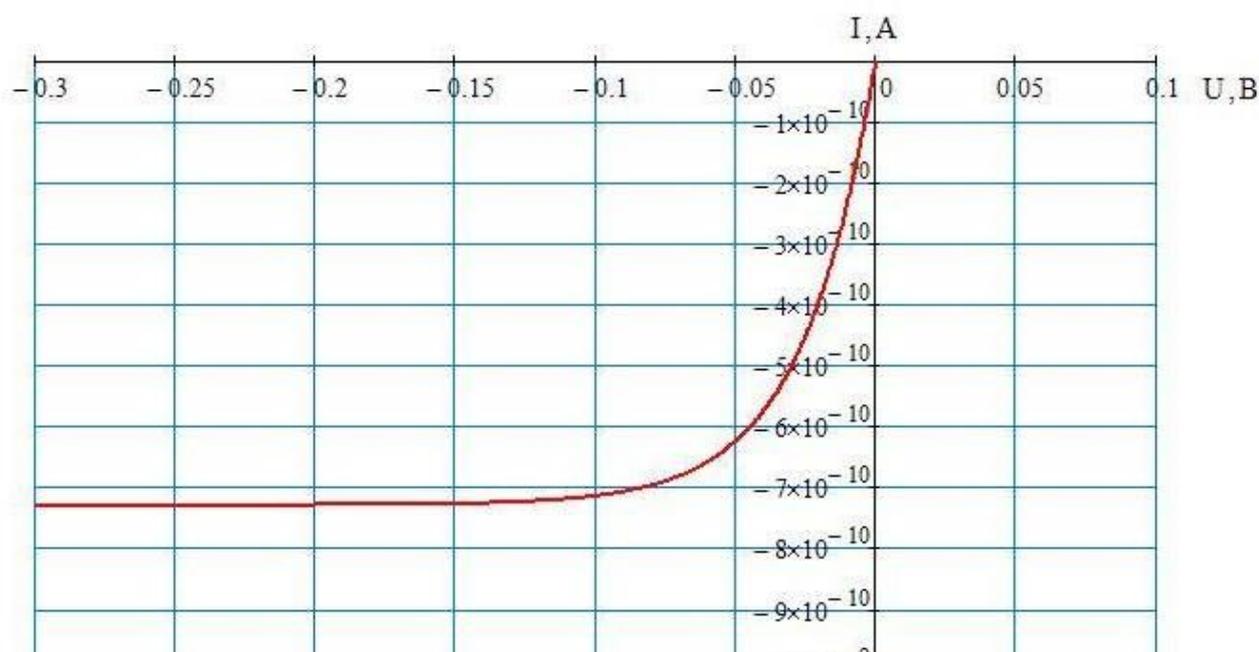
$$I = S q \left(\frac{D_{pp} p n}{L_p} + \frac{D_{nn} n p}{L_n} \right) = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot \left(\frac{1.55 \cdot 10^3 \cdot 10^{15}}{1.969 \cdot 10^{-3}} + \frac{3.88 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{14}}{3.114 \cdot 10^{-3}} \right) = 7.3 \cdot 10^{-10} \text{ А.}$$

Построим зависимость тока от приложенного напряжения.

$$I = I_0 e^{\frac{qU}{kT}} = 7.3 \cdot 10^{-10} \cdot e^{0.0258U - 1}.$$



Видно, что вольт-амперная характеристика р-п-перехода имеет ярко выраженный несимметричный характер. В области прямых напряжений ток р-п-перехода экспоненциально возрастает с ростом приложенного напряжения. В области отрицательных напряжений ток практически равен нулю. Построим обратную ветвь вольт-амперной характеристики в увеличенном масштабе.



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

Максимальное количество баллов за работу

Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных				
1.	Задание закрытого типа	13. 1. Определите, в каком из ответов правильно указаны компоненты входящие в состав манганина? 1) <i>медь, марганец;</i> 2) <i>медь, никель;</i> 3) <i>медь, марганец, никель.</i>	3	3
2.		14. Какой фактор определяет жаростойкость проводниковых материалов? 1) <i>окисляемость сплавов при высоких температурах;</i> 2) <i>неокисляемость сплавов при высоких температурах;</i> 3) <i>нагрев до высоких температур .</i>	2	3
3.		.Каким способом удаляют пористость электроугольных изделий? 1) <i>пропитка лаками;</i> 2) <i>пропитка воскообразными</i>	1	3

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		<i>веществами;</i> 3) <i>пропитка расплавленными металлами;</i>		
5.		Определите, в каком из ответов правильно указаны сплавы металлов, относящиеся к жаростойким проводниковым материалам? 1) <i>латунь;</i> 2) <i>фехраль;</i> 3) <i>константан.</i>	5	
6.	Задание открытого типа	Ситуационная задача: 1. Приведите классификацию систем и элементов автоматики	К важнейшим и наиболее сложным относят системы автоматического управления (САУ); все остальные перечисленные выше системы являются частными, как правило, более простыми вариантами САУ	3
7.		Ситуационная задача: Дайте общую характеристику входных, возмущающих и выходных параметров сварочного процесса как объекта автоматизации.	В автоматической системе часть входных воздействий (при условии, что они не содержат ошибок) дает системе информацию о задачах управления. Такие воздействия называют задающими (управляющими) воздействиями $g_k(t)$. Они либо вырабатываются управляющим устройством, либо задаются человеком.	4
8.		Ситуационная задача: Приведите функциональную схему источника питания с разнополярными импульсами для сварки алюминиевых сплавов.	Для телевизионных систем, работающих в оптическом диапазоне электромагнитных	6

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			<p>волн, основными являются спектрально-энергетические характеристики контролируемого объекта. Чувствительность телевизионного контроля повышается при согласовании спектральной характеристики передающей трубки телевизионной камеры с областью спектрального излучения контролируемых деталей зоны сварки (сварочной ванны, факела). Телевизионные камеры на видиконе имеют рабочую область в видимой части спектра (0,4...0,7 мкм).</p>	
9.		<p>Ситуационная задача: Поясните принцип измерения параметров и положения стыка с использованием дуговых датчиков в следящих системах. Каковы особенности технологии сварки, обеспечивающие возможность применения этих датчиков в системах слежения?</p>	<p>Следящие системы с регуляторами прямого действия являются наиболее простыми, в них измерение неотделимо от управления. Сварочный инструмент (сварочная головка или горелка) имеет одну или несколько свободных (неприводных) степеней подвижности и связан непосредственно со щупом, выполненным в виде</p>	6

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			<p>ролика или неподвижного копирного пальца. Щуп постоянно прижат к поверхностям разделки кромок стыка или другим поверхностям свариваемых элементов под действием пружин или силы тяжести. При одном щупе-ролике (рис. 4.2, а) можно направить горелку по разделке стыка без прихваток.</p>	
10.		<p>Ситуационная задача: Каковы технологические возможности телевизионных следящих систем при ЭЛС?</p>	<p>В структуру системы входят также блоки имитации стыка 13 и контроля 14. Блок 13 предназначен для моделирования видеосигнала от зоны сварки, он используется при настройке системы слежения до сварки. Блок 14 служит для выявления нарушений работы следящей системы и сигнализации об этом оператору в режимах автоматического слежения при сварке, ручного наведения и проверки системы с блоком имитации. Питание системы обеспечивается от блока 15. Система слежения допускает превышение кромок стыка до 5 мм. Допустимое отклонение стыка от</p>	10

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			среднего положения составляет ± 12 мм на 1 м длины линии стыка. Продолжительность непрерывной работы системы ограничивается сроком службы видеоконатора и видеоконтрольного блока.	
<p>ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования</p>				
11.	Задание закрытого типа	14. 1. Определите, в каком из ответов правильно указаны компоненты входящие в состав манганина? 1) медь, марганец; 2) медь, никель; 3) медь, марганец, никель.	3	3
12.		14. Какой фактор определяет жаростойкость проводниковых материалов? 4) окисляемость сплавов при высоких температурах; 5) неокисляемость сплавов при высоких температурах; 6) нагрев до высоких температур .	2	3
13.		.Каким способом удаляют пористость электроугольных изделий? 4) пропитка лаками; 5) пропитка воскообразными веществами; 6) пропитка расплавленными металлами;	1	3
14.		Определите, в каком ответе правильно указаны материалы в качестве	5	3

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		проводников, которые применяются в обмоточных проводах? 1) олово, свинец; 2) сталь; 3) медь, алюминий.		
15.		Определите, в каком из ответов правильно указаны сплавы металлов, относящиеся к жаростойким проводниковым материалам? 1) латунь; 3) фехраль; 3) константан.	5	
16.	Задание открытого типа	Ситуационная задача: 1. Приведите классификацию систем и элементов автоматики	К важнейшим и наиболее сложным относят системы автоматического управления (САУ); все остальные перечисленные выше системы являются частными, как правило, более простыми вариантами САУ	3
17.		Ситуационная задача: Дайте общую характеристику входных, возмущающих и выходных параметров сварочного процесса как объекта автоматизации.	В автоматической системе часть входных воздействий (при условии, что они не содержат ошибок) дает системе информацию о задачах управления. Такие воздействия называют задающими (управляющими) воздействиями $g_k(t)$. Они либо вырабатываются управляющим устройством, либо задаются человеком.	4
18.		Ситуационная задача: Приведите функциональную схему источника питания с разнополярными импульсами для сварки алюминиевых сплавов.	Для телевизионных систем, работающих в оптическом диапазоне электромагнитных	6

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			<p>волн, основными являются спектрально-энергетические характеристики контролируемого объекта. Чувствительность телевизионного контроля повышается при согласовании спектральной характеристики передающей трубки телевизионной камеры с областью спектрального излучения контролируемых деталей зоны сварки (сварочной ванны, факела). Телевизионные камеры на видиконе имеют рабочую область в видимой части спектра (0,4...0,7 мкм).</p>	
19.		<p>Ситуационная задача: Поясните принцип измерения параметров и положения стыка с использованием дуговых датчиков в следящих системах. Каковы особенности технологии сварки, обеспечивающие возможность применения этих датчиков в системах слежения?</p>	<p>Следящие системы с регуляторами прямого действия являются наиболее простыми, в них измерение неотделимо от управления. Сварочный инструмент (сварочная головка или горелка) имеет одну или несколько свободных (неприводных) степеней подвижности и связан непосредственно со щупом, выполненным в виде</p>	6

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			<p>ролика или неподвижного копирного пальца. Щуп постоянно прижат к поверхностям разделки кромок стыка или другим поверхностям свариваемых элементов под действием пружин или силы тяжести. При одном щупе-ролике (рис. 4.2, а) можно направить горелку по разделке стыка без прихваток.</p>	
20.		<p>Ситуационная задача: Каковы технологические возможности телевизионных следящих систем при ЭЛС?</p>	<p>В структуру системы входят также блоки имитации стыка 13 и контроля 14. Блок 13 предназначен для моделирования видеосигнала от зоны сварки, он используется при настройке системы слежения до сварки. Блок 14 служит для выявления нарушений работы следящей системы и сигнализации об этом оператору в режимах автоматического слежения при сварке, ручного наведения и проверки системы с блоком имитации. Питание системы обеспечивается от блока 15. Система слежения допускает превышение кромок стыка до 5 мм. Допустимое отклонение стыка от</p>	10

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			среднего положения составляет ± 12 мм на 1 м длины линии стыка. Продолжительность непрерывной работы системы ограничивается сроком службы видеоконтора и видеоконтрольного блока.	

Полный комплект оценочных материалов по дисциплине (модулю) (фонд оценочных средств) хранится в электронном виде на кафедре, утверждающей рабочую программу дисциплины (модуля), и в Центре мониторинга и аудита качества обучения.

Максимальное количество баллов за работу

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий/баллы	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
6 семестр				
Основной блок				
1.	Контрольная работа	4/40	40	
3.	Практические занятия	4/40	40	
	Всего		80	
Блок бонусов				
5.	Отсутствие пропусков (лекций, практических занятий)		4	
6.	Активная работа на занятиях		4	
7.	Своевременное выполнение заданий		2	
	Всего		10	
Дополнительный блок				
7	Зачет	1	10	
Итого			100	

Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия)

Показатель	Балл
Опоздание (два и более)	-2
Не готов к практическому занятию	-2
Нарушение дисциплины	-2
Пропуски лекций без уважительных причин (за одну лекцию)	-2
Пропуски практических занятий без уважительных причин (за одно занятие)	-2
Не своевременное выполнение задания	-2

Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале
--------------	----------------------------

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	Зачтено
85–89	4 (хорошо)	
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64	2 (неудовлетворительно)	
Ниже 60		

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

Оценка достижений студентов строится на основе системы БАРС (Приказ ректора от 13.01.2014 г. № 08-01-01/08) ознакомиться с которой можно по ссылке http://asu.edu.ru/images/File/Ilil_5/ATT00072.pdf.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основная литература

1. Бялик, А. Д. Материалы электронной техники. Полупроводники. Проводниковые материалы. Магнитные материалы : учебное пособие / Бялик А. Д. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 99 с. - ISBN 978-5-7782-3222-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778232228.html>
2. Бялик, А. Д. Материалы электронной техники. Диэлектрики : учебное пособие / Бялик А. Д. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 42 с. - ISBN 978-5-7782-3153-5. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778231535.html>
3. Александров С. Е. Технология полупроводниковых материалов: / С. Е. Александров, Ф. Ф. Греков. -Москва: Лань, 2012. -230 с. – электронный ресурс Издательского дома «Лань».
4. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники : учебник . В 2- т./ В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева Т. 1 : Проводники, полупроводники, диэлектрики. -М.: Академия, 2006. -448 с.
5. Сорокин, В. С.. Материалы и элементы электронной техники : учебник. В 2-х т./ В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева Т. 2 : Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. -М.: Академия, 2006. -384 с.

Дополнительная литература

6. Пасынков В.В. Материалы электронной техники : учебник/ В.В.Пасынков, В.С.Сорокин. -6-е изд., стер.. -СПб.: Лань, 2004. -368 с.
7. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : учебное пособие/ К.С.Петров. -М.: Питер, 2006. -522 с.:
8. Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие для вузов/ В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко; науч. ред. Л. А. Алешина. -М.: Техносфера, 2007. -520 с.
9. Терехов В. А. Задачник по электронным приборам : учебное пособие/ В. А. Терехов. -3-е изд., перераб. и доп.. -СПб.: Лань, 2003. -280 с.

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)

<i>Наименование интернет-ресурса</i>
Единое окно доступа к образовательным ресурсам http://window.edu.ru
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

<i>Наименование интернет-ресурса</i>
https://minobrnauki.gov.ru
Министерство просвещения Российской Федерации https://edu.gov.ru
Федеральное агентство по делам молодежи (Росмолодёжь) https://fadm.gov.ru
Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) http://obrnadzor.gov.ru
Сайт государственной программы Российской Федерации «Доступная среда» http://zhit-vmeste.ru
Российское движение школьников https://рдш.рф

Учебные аудитории, библиотеки АГУ, центр мониторинга и аудита качества образования, компьютерные классы, мультимедийные аудитории.

При самостоятельной проработке домашних заданий и написания индивидуальных работ студентам рекомендуется пользоваться библиотечным фондом литературы (учебниками и периодическими изданиями), а также методическими указаниями по выполнению самостоятельных и практических работ.

При необходимости рабочая программа дисциплины (модуля) может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе для дистанционного обучения. Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК).

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1. Специализированные лаборатории для выполнения лабораторных работ.
2. Комплект мультимедийного оборудования

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины (модуля) может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

10. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию

остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т. д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т. д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).