Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Вишневский Дмитрий Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 30.04.2025 11:55:50
Уникальный программный ключ:
03474917c4d012283e5ad996a48a5e70bf8da057

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет информационных технологий и автоматизации производственных процессов
Кафедра электроники и радиофизики

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора
по учебной работе
_______ Д.В. Мулов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы электроники
(наименование дисциплины)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код, наименование направления)

Промышленная электроника
(профиль подготовки)

Квалификация бакалавр
(бакалавр/специалист/магистр)

Форма обучения очная, очно-заочная, заочная
(очная, очно-заочная, заочная)

Алчевск, 2024

1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цели дисциплины. Целью изучения дисциплины «Физические основы электроники» является формирование у обучающихся чёткого представления о принципах действия важнейших полупроводниковых приборов (прежде всего диодов и транзисторов) и их параметрах; о связи параметров приборов со свойствами материала, физическими процессами в полупроводниковых структурах.

Задачи изучения дисциплины:

– научить студентов производить выбор электронных и полупроводниковых приборов при разработке электронных схем,

– применять компьютерное моделирование для оценки работы конечного устройства,

– самостоятельно осваивать новые приборы и основанные на них устройства;

– дать навыки измерения и анализа наиболее важных параметров и характеристик диодов и транзисторов, простейших расчётов параметров приборов, подбора материала и конструкции для достижения необходимых параметров.

Дисциплина направлена на формирование общепрофессиональной компетенции (ОПК-1) выпускника.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – дисциплина входит в обязательную часть БЛОКА 1 основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (профиль «Промышленная электроника»).

Дисциплина реализуется кафедрой электроники и радиофизики.

Основывается на базе дисциплин: «Физика», «Высшая математика», «Химия».

Является основой для изучения следующих дисциплин: «Материалы и компоненты электронной техники», «Твердотельная электроника», «Теоретические основы электротехники», «Схемотехника аналоговых устройств», «Основы силовой преобразовательной техники», приобретенные знания используются при прохождении производственных практик, при подготовке к процедуре защиты и защите ВКР.

Дисциплина «Физические основы электроники» необходима для обеспечения базовой инженерной подготовки специалиста в области электроники. Она развивает инженерное мышление и помогает приобрести знания, необходимые для изучения специальных дисциплин, связанных с проектированием и эксплуатацией электронного оборудования.

Общая трудоемкость освоения дисциплины для очной формы обучения составляет 4 зачетных единицы, 1144 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (36 ак.ч.), практические (36 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (72 ак.ч.).

Для очно-заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (8 ак.ч.), практические (8 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (128 ак.ч.).

Для заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (4 ак.ч.), практические (4 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (136 ак.ч.).

Дисциплина изучается на 2 курсе в 3 семестре. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Физические основы электроники» направлен на формирование компетенции, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы ОПК-1.2. Умеет применять положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач теоретического и прикладного характера ОПК-1.3. Владеет навыками использования знаний положений, законов и методов естественных наук и математики при решении практических задач

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 4 зачётных единицы, 144 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, выполнение индивидуального задания, самостоятельное изучение материала и подготовку к экзамену.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		5
Аудиторная работа, в том числе:	72	72
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	72	72
Подготовка к лекциям	4	4
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	18	18
Выполнение курсовой работы / проекта	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	12	12
Домашнее задание	10	10
Подготовка к контрольной работе	-	-
Подготовка к коллоквиуму	6	6
Аналитический информационный поиск	5	5
Работа в библиотеке	8	8
Подготовка к экзамену	9	9
Промежуточная аттестация – экзамен (Э)	Э (2)	Э (2)
Общая трудоемкость дисциплины		
ак.ч.	144	144
з.е.	4	4

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенции, приведенной в п.3 дисциплина разбита на 8 тем:

– тема 1 (Введение. Элементы зонной теории твердого тела);

– тема 2 (Носители заряда в металлах и полупроводниках. Электропроводность металлов и полупроводников);

– тема 3 (Примесные полупроводники. Электропроводность примесных полупроводников. Статистика электронов и дырок в полупроводниках);

– тема 4 (Неравновесная проводимость полупроводников. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках);

– тема 5 (Контактные явления. Контакт металл-металл, металл-полупроводник);

– тема 6 (Контактные явления. Электронно-дырочный переход);

– тема 7 (Эффект поля в полупроводниках);

– тема 8 (Полупроводниковые приборы).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной, очно-заочной и заочной формы приведены в таблице 3, 4 и 5 соответственно.

Таблица 3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Введение. Элементы зонной теории твердого тела	Введение. Цель, задачи, содержание курса. Элементы зонной структуры твердого тела: энергетические зоны в кристаллах в приближении сильной связи; металлы, диэлектрики, полупроводники.	4	Расчет концентрации носителей в ПП	4	–	–
2	Носители заряда в металлах и полупроводниках. Электропроводность металлов и полупроводников	Электропроводность металлов. Зависимость электропроводности металлов от температуры. Температурный коэффициент сопротивления металлов. Распределение свободных электронов в зоне проводимости металлов по энергетическим уровням. Понятие уровня Ферми. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность химически чистых полупроводников и ее связь с энергией активации. Электроны и дырки. Собственные носители заряда в полупроводниках, собственная концентрация носителей заряда. Зависимость собственной концентрации носителей заряда в полупроводниках от температуры. Подвижность носителей заряда в ПП. Влияние механизмов рассеяния на подвижность носителей в ПП.	4	Дрейфовые и диффузионные токи в ПП	4	–	–
3	Примесные полупроводники. Электропроводность примесных полупроводников.	Влияние примесей на электропроводность полупроводников. Полупроводники p-типа. Полупроводники n-типа. Температурная зависимость электропроводности	4	Электропроводность примесных полупроводников	4	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
	Статистика электронов и дырок в полупроводниках	примесных полупроводников. Зонная структура полупроводников p- и n-типа. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Уровни Ферми в полупроводниках p- и n-типа. Зависимость положения уровня Ферми от температуры.					
4	Неравновесная проводимость полупроводников. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках.	Неравновесная проводимость полупроводников. Дрейфовые и диффузионные токи в ПП. Диффузионная длина носителя заряда. Время жизни. Равновесные и неравновесные носители заряда в полупроводниках. Поверхностные явления. Фотопроводимость полупроводников. Движение носителей заряда под действием магнитного поля. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках. Эффект Холла. Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	4	Статистика носителей заряда в ПП	4	–	–
5	Контактные явления. Контакт металл-металл, металл-полупроводник	Работа выхода. Термодинамическая работа выхода. Уровень Ферми в системе, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. Контакт металл-металл. Внутренняя и внешняя разности потенциалов. Контакт металл-полупроводник. ВАХ перехода металл-полупроводник. Омические переходы.	4	Контакт металл-металл, металл-полупроводник	4	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
6	Контактные явления. Электронно-дырочный переход	Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости. Электронно-дырочный переход. Структура p-n-перехода. Высота потенциального барьера в p-n-переходе. Распределение носителей заряда в p-n-переходе. Толщина слоя объемного заряда в p-n-переходе. Анализ p-n-перехода в неравновесном состоянии. Инжекция и экстракция носителей заряда. Расчет вольтамперной характеристики p-n-перехода. Тепловой ток. Влияние уровня инжекции и температуры на ВАХ p-n-перехода. Диффузная и барьерная емкости p-n-перехода. Пробой p-n-перехода. Гетеропереходы.	6	Переход в равновесном и неравновесном состоянии	6	–	
7	Эффект поля в полупроводниках	Поверхностная проводимость полупроводников. Явление обеднения, обогащения и инверсии знака заряда в приповерхностных слоях полупроводника. Полевое управление токами в полупроводниковых устройствах.	2	ВАХ перехода	2	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
8	Полупроводниковые приборы	Схемные функции диодов. Параметры и характеристики биполярных транзисторов. Полевые транзисторы. Тиристоры. Оптоэлектронные приборы.	8	Схемные функции диодов Статические характеристики биполярных транзисторов Характеристики полевых транзисторов Характеристики тиристоров. Применение оптоэлектронных приборов	2 2 2 2	–	–
Всего аудиторных часов			36	36		–	

Таблица 4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очно-заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Введение. Элементы зонной теории твердого тела	Введение. Цель, задачи, содержание курса. Элементы зонной структуры твердого тела: энергетические зоны в кристаллах в приближении сильной связи; металлы, диэлектрики, полупроводники.	1	Расчет концентрации носителей в ПП	1	–	–
2	Носители заряда в металлах и полупроводниках. Электропроводность металлов и полупроводников	Электропроводность металлов. Зависимость электропроводности металлов от температуры. Температурный коэффициент сопротивления металлов. Распределение свободных электронов в зоне проводимости металлов по энергетическим уровням. Понятие уровня Ферми. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность химически чистых полупроводников и ее связь с энергией активации. Электроны и дырки. Собственные носители заряда в полупроводниках, собственная концентрация носителей заряда. Зависимость собственной концентрации носителей заряда в полупроводниках от температуры. Подвижность носителей заряда в ПП. Влияние механизмов рассеяния на подвижность носителей в ПП.	1	Дрейфовые и диффузионные токи в ПП	1	–	–
3	Примесные полупроводники. Электропроводность примесных	Влияние примесей на электропроводность полупроводников. Полупроводники p-типа. Полупроводники n-типа. Температурная	1	Электропроводность примесных полупроводников	1	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
	полупроводников. Статистика электронов и дырок в полупроводниках	зависимость электропроводности примесных полупроводников. Зонная структура полупроводников p- и n-типа. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Уровни Ферми в полупроводниках p- и n-типа. Зависимость положения уровня Ферми от температуры.					
4	Неравновесная проводимость полупроводников. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках.	Неравновесная проводимость полупроводников. Дрейфовые и диффузионные токи в ПП. Диффузионная длина носителя заряда. Время жизни. Равновесные и неравновесные носители заряда в полупроводниках. Поверхностные явления. Фотопроводимость полупроводников. Движение носителей заряда под действием магнитного поля. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках. Эффект Холла. Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	1	Статистика носителей заряда в ПП	1	–	–
5	Контактные явления. Контакт металл-металл, металл-полупроводник	Работа выхода. Термодинамическая работа выхода. Уровень Ферми в системе, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. Контакт металл-металл. Внутренняя и внешняя разности потенциалов. Контакт металл-полупроводник. ВАХ перехода металл-полупроводник. Омические переходы.	1	Контакт металл-металл, металл-полупроводник	1	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
6	Контактные явления. Электронно-дырочный переход	Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости. Электронно-дырочный переход. Структура p-n-перехода. Высота потенциального барьера в p-n-переходе. Распределение носителей заряда в p-n-переходе. Толщина слоя объемного заряда в p-n-переходе. Анализ p-n-перехода в неравновесном состоянии. Инжекция и экстракция носителей заряда. Расчет вольтамперной характеристики p-n-перехода. Тепловой ток. Влияние уровня инжекции и температуры на ВАХ p-n-перехода. Диффузная и барьерная емкости p-n-перехода. Пробой p-n-перехода. Гетеропереходы.	1	Переход в равновесном и неравновесном состоянии	1	–	
7	Эффект поля в полупроводниках	Поверхностная проводимость полупроводников. Явление обеднения, обогащения и инверсии знака заряда в приповерхностных слоях полупроводника. Полевое управление токами в полупроводниковых устройствах.	1	ВАХ перехода	1	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
8	Полупроводниковые приборы	Схемные функции диодов. Параметры и характеристики биполярных транзисторов. Полевые транзисторы. Тиристоры. Оптоэлектронные приборы.	1	Схемные функции диодов Статические характеристики биполярных транзисторов Характеристики полевых транзисторов Характеристики тиристоров. Применение оптоэлектронных приборов	1	–	–
Всего аудиторных часов			8	8		–	

Таблица 4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Введение. Элементы зонной теории твердого тела	Введение. Цель, задачи, содержание курса. Элементы зонной структуры твердого тела: энергетические зоны в кристаллах в приближении сильной связи; металлы, диэлектрики, полупроводники.	0,5	Расчет концентрации носителей в ПП	0,5	–	–
2	Носители заряда в металлах и полупроводниках. Электропроводность металлов и полупроводников	Электропроводность металлов. Зависимость электропроводности металлов от температуры. Температурный коэффициент сопротивления металлов. Распределение свободных электронов в зоне проводимости металлов по энергетическим уровням. Понятие уровня Ферми. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность химически чистых полупроводников и ее связь с энергией активации. Электроны и дырки. Собственные носители заряда в полупроводниках, собственная концентрация носителей заряда. Зависимость собственной концентрации носителей заряда в полупроводниках от температуры. Подвижность носителей заряда в ПП. Влияние механизмов рассеяния на подвижность носителей в ПП.	0,5	Дрейфовые и диффузионные токи в ПП	0,5	–	–
3	Примесные полупроводники. Электропроводность примесных	Влияние примесей на электропроводность полупроводников. Полупроводники p-типа. Полупроводники n-типа. Температурная	0,5	Электропроводность примесных полупроводников	0,5	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
	полупроводников. Статистика электронов и дырок в полупроводниках	зависимость электропроводности примесных полупроводников. Зонная структура полупроводников p- и n-типа. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Уровни Ферми в полупроводниках p- и n-типа. Зависимость положения уровня Ферми от температуры.					
4	Неравновесная проводимость полупроводников. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках.	Неравновесная проводимость полупроводников. Дрейфовые и диффузионные токи в ПП. Диффузионная длина носителя заряда. Время жизни. Равновесные и неравновесные носители заряда в полупроводниках. Поверхностные явления. Фотопроводимость полупроводников. Движение носителей заряда под действием магнитного поля. Термоэлектрические явления в металлах и полупроводниках. Эффект Холла. Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	0,5	Статистика носителей заряда в ПП	0,5	–	–
5	Контактные явления. Контакт металл-металл, металл-полупроводник	Работа выхода. Термодинамическая работа выхода. Уровень Ферми в системе, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. Контакт металл-металл. Внутренняя и внешняя разности потенциалов. Контакт металл-полупроводник. ВАХ перехода металл-полупроводник. Омические переходы.	0,5	Контакт металл-металл, металл-полупроводник	0,5	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
6	Контактные явления. Электронно-дырочный переход	Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости. Электронно-дырочный переход. Структура p-n-перехода. Высота потенциального барьера в p-n-переходе. Распределение носителей заряда в p-n-переходе. Толщина слоя объемного заряда в p-n-переходе. Анализ p-n-перехода в неравновесном состоянии. Инжекция и экстракция носителей заряда. Расчет вольтамперной характеристики p-n-перехода. Тепловой ток. Влияние уровня инжекции и температуры на ВАХ p-n-перехода. Диффузная и барьерная емкости p-n-перехода. Пробой p-n-перехода. Гетеропереходы.	0,5	Переход в равновесном и неравновесном состоянии	0,5	–	
7	Эффект поля в полупроводниках	Поверхностная проводимость полупроводников. Явление обеднения, обогащения и инверсии знака заряда в приповерхностных слоях полупроводника. Полевое управление токами в полупроводниковых устройствах.	0,5	ВАХ перехода	0,5	–	–

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
8	Полупроводниковые приборы	Схемные функции диодов. Параметры и характеристики биполярных транзисторов. Полевые транзисторы. Тиристоры. Оптоэлектронные приборы.	0,5	Схемные функции диодов Статические характеристики биполярных транзисторов Характеристики полевых транзисторов Характеристики тиристоров. Применение оптоэлектронных приборов	0,5	–	–
Всего аудиторных часов			4	4		–	

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ОПК-1	Экзамен	Комплект контролирующих материалов для экзамена

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

– тестовый контроль или устный опрос на коллоквиумах (2 работы) – всего 40 баллов;

– практические работы – всего 40 баллов;

– за выполнение индивидуального и домашнего задания – всего 20 баллов.

Экзамен проставляется автоматически, если студент набрал по текущей работе не менее 60 баллов. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального. Экзамен по дисциплине «Физические основы электроники» проводится в две ступени:

- тесты (15 закрытых заданий и 15 открытых заданий), студент должен ответить правильно не менее чем на 18 вопросов подтвердив, таким образом, успешное освоение обязательного минимума по данной дисциплине.

В случае успешной сдачи тестов студент может набрать максимум 60 баллов (зачтено) или может быть допущен к устному экзамену и претендовать на повышенную оценку.

Устный экзамен проводится по вопросам, представленным ниже. Студент получает два вопроса из приведенного перечня. Ответ на каждый вопрос

оценивается из 20 баллов. Студент на устном экзамене может набрать до 40 баллов. Результат экзамена (максимум 100 баллов) определяется как сумма тестовой и устной частей.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

6.2 Домашнее задание

В качестве домашнего задания обучающиеся выполняют проработку лекционного материала.

6.3 Темы для рефератов (презентаций) – индивидуальное задание

1) История развития полупроводниковой технологии, ее современный уровень развития, основные проблемы, стоящие на пути ее развития и предлагаемые пути их решения.
2) Основные материалы современной полупроводниковой микро и наноэлектроники.
3) Новые полупроводниковые материалы, используемые в полупроводниковой технологии. Преимущества этих материалов по сравнению с ранее используемыми полупроводниками. Проблемы на пути использования новых материалов.
4) Электрон – мельчайший носитель информации. Достоинства и недостатки электрона, как носителя информации.
5) Основоположники электроники, отечественные и зарубежные ученые. Вакуумная, полупроводниковая электроника, микроэлектроника, функциональная электроника.
6) Основные этапы становления полупроводниковой электроники. Место полупроводниковой электроники в разработке средств вычислительной техники.
7) Неравновесные носители заряда в полупроводниках
8) Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда в полупроводниках
9) Поверхностные явления в полупроводниках
10) Собственная и примесная проводимость полупроводников. Зависимость проводимости полупроводников от температуры и уровня легирования.

В качестве индивидуального задания студенты очной формы готовят

реферат или презентацию на одну из приведенных выше тем и решают задачи в соответствии со своим вариантом.

Варианты расчетной части индивидуального задания:

Вариант №1

1. Найти разницу энергий (в единицах $кТ$) между электроном, находящимся на уровне Ферми, и электроном, находящимся на уровне, вероятность заполнения которого равна *0,20*.

2. В собственном германии при $T=300\ К$ имеется $4{,}4\cdot10^{28}$ *атомов/м*^{3} и $2{,}5\cdot10^{19}$ *электронов проводимости/м*^{3}. Чему равна концентрация дырок и электронов проводимости в примесном германии, содержащем *1* атом донорных примесей на 10^9 основных атомов и такую же концентрацию акцепторных примесей?

3. Определите и сравните скорость дрейфа электрона, движущегося в электрическом поле с напряженностью *10 кВ/м* в собственном германии, с его скоростью при движении на расстоянии *10 мм* в таком же поле в вакууме. Подвижность электрона принять равной [$\mu=0{,}39\ м^2/(В\cdot с)$].

4. Полупроводник в виде тонкой пластины шириной $b=1см$ и длиной $L=10\ см$ помещен в однородное магнитное поле о индукцией $B=0{,}2\ Тл$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости пластины. К концам пластины (по направлению L) приложено постоянное напряжение $U = 300\ В$. Определить холловскую разность потенциалов U_H на гранях пластины, если постоянная Холла $R_H=0{,}1\ м^3/Кл$, удельное сопротивление $\rho = 0{,}5\ Ом\cdot м$.

5. В германиевом p-n-переходе удельное сопротивление p-области $\rho_p=4{,}2\cdot10^{-4}Ом/м$ и удельное сопротивление n-области $\rho_n=2{,}8\cdot10^{-2}Ом/м$. . Подвижности электронов μ_n и дырок μ_p в германии равны *0,3* и *0,15* $м^2/(В\cdot с)$, концентрация собственных носителей $n_i=2{,}5\cdot10^{19}\ м^{-3}$. Время жизни неосновных носителей заряда $\tau_n=75\ мкс$ и $\tau_p=150\ мкс$. Площадь поперечного p-n-перехода $S=10^{-6}\ м^2$. ($T=300К$). Определить: а) контактную разность потенциалов $\Delta\varphi_0$; б) обратный ток насыщения; в) долю тока, создаваемую дырками.

6. Определить градиент концентрации примеси в области германиевого линейно-плавного p-n-перехода, если его барьерная емкость при нулевом смещении равна *5 пФ*. Контактная разность потенциалов $\Delta\varphi_0=0{,}3\ эВ$.

Вариант №2

1. Какова вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на *0,01 эВ* ниже уровня Ферми, при температуре $+18^0C$?

2. Удельная проводимость образца собственного кремния при $T=300\ К$ равна $4{,}3\cdot10^{-4}\ См/м$. Какова концентрация собственных носителей? Если через образец проходит ток, то какая часть этого тока обусловлена электронами?

3. Брусок кремния размером $10\times10\times10\ мм^3$ при $T=300\ К$ содержит в качестве примесей галлий с концентрацией $N_A=10^{19}$ *атомов/м*^{3} и мышьяк с концентрацией $N_D=1{,}5\cdot10^{19}$ *атомов/м*^{3}. Определить сопротивление бруска между

двумя противоположными сторонами, если концентрация собственных носителей заряда $n_i=1,5\cdot10^{16}$ *м*$^{-3}$, подвижность электронов $\mu_n=0,12$ *м*^{2}*/(В·с)* и подвижность дырок $\mu_p=0,05$ *м*^{2}*/(В·с)*.

4. Тонкая пластина из кремния шириной *b=2 см* помещена перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля (*В = 0,5 Тл*). При плотности тока *j=3 мкА/мм*^{2}, направленного вдоль пластины, холловская разность потенциалов U_H оказалась равной *2,8 мВ*. Определить концентрацию *n* носителей тока.

5. Кремниевый планарный *p-n*-переход имеет удельную проводимость *p*-области $\sigma_p=10^3$*См/м* и *n*-области σ_n *=20 См/м*. Время жизни неосновных носителей заряда *5* и *1 мкс* в *p*- и *n*-областях соответственно.

Определить:

а) отношение дырочной составляющей тока к электронной в *p-n*-переходе;

б) плотность обратного тока насыщения и плотность тока, текущего через *p-n*-переход при прямом напряжении, равном *0,3 В*.

Температура *Т=300 К*, концентрация собственных носителей $n_i=1,4\cdot10^{16}$ *м*$^{-3}$, подвижность электронов $\mu_n=0,12$ *м*^{2}*/(В·с)*, подвижность дырок $\mu_p=0,05$ *м*^{2}*/(В·с*).

6. Чему равна в равновесном состоянии толщина слоя объемного заряда *p-n*-перехода, рассмотренного в задаче 5.42, при прямом (обратном) напряжении на нем *1В*?

6.4 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Примеры тестовых заданий коллоквиумов №1 и №2:

1. Собственный полупроводник – это:

а) атомарный полупроводник типа кремния или германия с небольшим содержанием примесей;

б) полупроводниковое соединение типа арсенида галлия и др.;

в) полупроводник, в котором концентрации дырок и электронов равны;

г) химически чистый полупроводник.

2. Легирование полупроводников производят с целью:

а) придания им необходимых механических свойств;

б) защиты поверхности полупроводников от окисления;

в) расширения рабочего диапазона температур полупроводниковых приборов;

г) повышения их электропроводности.

3. Дырочная проводимость полупроводников обусловлена:

а) движением положительно заряженных свободных протонов;

б) движением свободных электронов;

в) движением связанных электронов по связям;

г) движением дырок, находящихся на акцепторных уровнях.

4. Зона проводимости это:

а) область полупроводника, проводимость которой обусловлена движением электронов;

б) область полупроводника, проводимость которой обусловлена движением дырок;

в) область энергий, которыми могут обладать валентные электроны данного кристалла;

г) область энергий, которыми могут обладать свободные электроны данного кристалла.

5. Уровень Ферми в n-полупроводниках с повышением температуры:

а) смещается к середине запрещенной зоны;

б) смещается к дну зоны проводимости;

в) остается постоянным;

г) расщепляется на два подуровня E_{pF} и E_{nF}.

6. Переход Шоттки образуется при контакте?:

а) металла с полупроводником;

б) двух металлов с различным положением уровней Ферми;

в) двух полупроводников с одним типом электропроводности;

г) двух полупроводников с различным типом проводимости.

7. Высота потенциального барьера определяется из выражения:

а) $\Delta\phi_0 = \frac{kT}{e} ln \frac{p_n n_n}{n_i^2}$;

б) $\Delta\phi_0 = \frac{kT}{e} ln \frac{p_n}{p_p}$;

в) $\Delta\phi_0 = \frac{kT}{e} ln \frac{p_p n_n}{n_i^2}$;

г) $\Delta\phi_0 = \frac{kT}{e} ln \frac{n_p}{n_n}$.

8. Если одна из областей легирована меньше, то:

а) вся область объемного заряда практически сосредоточена в более легированной области;

б) вся область объемного заряда практически сосредоточена в менее легированной области;

в) вся область объемного заряда практически сосредоточена непосредственно у металлургической границы полупроводников;

г) вся область объемного заряда практически распределена равномерно в областях.

9. Лавинный пробой наблюдается:
а) в широких переходах;
б) в узких переходах;
в) в переходах, изготовленных из низкоомных материалов;
г) при малой длине свободного пробега носителей заряда;
д) при малом времени жизни носителей.

10. С повышением температуры высота потенциального барьера:
а) повышается;
б) понижается;
в) остается неизменной;
г) вначале понижается, затем принимает постоянное значение;
д) вначале повышается, затем принимает постоянное значение.

11. Чему равен заряд электрона по модулю в СИ (число $\cdot 10^{-19}$ Кл)?
Ответ: …

12. Электрон влетает в электрическое поле с напряженностью 1000В/м. Чему равна сила, действующая на электрон со стороны электрического поля (число $\cdot 10^{-16}$ Н)?
Ответ: …

13. Чему равна вероятность заполнения уровня Ферми в полупроводниках (число $\cdot 10^{-16}$ Н)?
Ответ: …

14. Удельное сопротивление меди при 20^0С равно $1{,}7 \cdot 10^{-8}$Ом·м. Определите сопротивление отрезка медного провода длиной 1 м и сечением 1 мм^2 при этой температуре (число$\cdot 10^{-}$2(Ом)).
Ответ: …

15. Удельное сопротивление германия равно 0,47 Ом. Чему равна его удельная проводимость (число (Ом·м))?
Ответ: …

16. Удельное сопротивление собственного германия при 27^0С равно 0,47 Ом. Полагая, что подвижности электронов и дырок соответственно равны 0,38 и 0,18 (м^2/(В·с) вычислить концентрацию собственных носителей заряда (число$\cdot 10^{19}$ (м$^{-3}$)).
Ответ: …

17. Напряженность поля в образце германия длиной 2 см равна 500В/м, подвижность электронов в нем 0,39 $м^2/(В·с)$. Какова средняя дрейфовая скорость электронов в образце (число (м/с))?

Ответ: …

18. Найти полный дрейфовый ток в чистом германии, если напряженность поля в нем равна 500 В/м, собственная концентрация носителей $1,5·10^{16}м^{-3}$, подвижности электронов и дырок соответственно 0,14 и 0,03 ($м^2$/Вс). Площадь поперечного сечения образца $S=3·10^{-6}м^2$ (число (мкА)).

Ответ: …

19. Коэффициент диффузии электронов в германии р-типа $D_n = 99·10^{-4}$ $м^2/с$, время жизни 10^{-4}с. Найти диффузионную длину электронов (число (мм)).

Ответ: …

20. Германиевый переход образован из полупроводников р-типа с концентрацией дырок $1,65·10^{21}м^{-3}$ и n –типа с концентрацией электронов $1,6·10^{21}м^{-3}$. Вычислить контактную разность потенциалов, если собственная концентрация носителей равна $2.5·10^{18}м^{-3}$ (число (В)).

Ответ: …

6.5 Вопросы для подготовки к экзамену (тестовому коллоквиуму)

1) Элементы зонной теории твердого тела. Что такое разрешенные и запрещенные зоны?

2) Чем отличаются металл, диэлектрик и полупроводник с точки зрения зонной теории?

3) Что понимается под кристаллической решеткой твердого тела?

4) Что такое индексы Миллера кристаллографических плоскостей и направлений?

5) Что понимается под собственным полупроводником?

6) Нарисуйте диаграмму энергетических уровней собственного германиевого (кремниевого) полупроводника.

7) Что такое примесные полупроводники, доноры и акцепторы?

8) Что такое электронный полупроводник? Нарисуйте диаграмму энергетических уровней германиевого (кремниевого) полупроводника.

9) Что такое дырочный полупроводник? Нарисуйте диаграмму диаграмму энергетических уровней германиевого (кремниевого) полупроводника.

10) Дайте понятия об основных и неосновных носителях заряда.

11) Поясните, что такое генерация и рекомбинация носителей заряда, концентрация основных и неосновных носителей в собственном и примесном полупроводниках.

12) Что такое распределение носителей по энергии?

13) Что такое статистика Ферми-Дирака, уровень Ферми?

14) Что такое электропроводность полупроводника, дрейф, диффузия, подвижность носителей?

15) Что такое диффузионные и дрейфовые токи в полупроводниках?

16) Поясните положение уровня Ферми в собственном и примесном полупроводниках.

17) Какова зависимость положения уровня Ферми от концентрации примеси и температуры?

18) Что такое вырожденные и невырожденные полупроводники?

19) Что такое контактная разность потенциалов?

20) Поясните образование электронно-дырочного перехода, методы формирования.

21) Нарисуйте диаграмму энергетических уровней электронно-дырочного перехода.

22) Поясните явление инжекции основных носителей заряда, диаграмму энергетических уровней.

23) Поясните явление экстракции неосновных носителей заряда, диаграмму энергетических уровней.

24) Нарисуйте вольт-амперную характеристику идеального p-n-перехода, поясните влияние температуры и ширины запрещенной зоны на вольт-амперную характеристику.

25) Нарисуйте вольт-амперную характеристику реального p-n- перехода.

26) Что такое выпрямительные и импульсные диоды?

27) Поясните физические явления (туннельный эффект, ударная ионизация и т.д.), вызывающие отклонения от идеализированной модели.

28) Какие виды пробоя могут быть в электронно-дырочном переходе?

29) Что такое туннельный и лавинный пробой обратно смещенного p-n перехода, стабилитрон и стабистор?

30) Что такое инерционные свойства перехода, барьерная и диффузионная емкости?

31) Нарисуйте эквивалентную схему p-n перехода.

32) Что такое работа выхода электронов?

33) Поясните процесс образование контакта металл-полупроводник, диаграмму энергетических уровней омического контакта металл-полупроводник.

34) Поясните образование контакта металл-полупроводник, диаграмму энергетических уровней выпрямительного контакта металл-полупроводник. 35) Поясните принцип действия диодов Шоттки?

36) Поясните физические процессы в контактах полупроводников с различной шириной запрещенной зоны (гетеропереходах).

37) Нарисуйте и поясните диаграмму энергетических уровней в состоянии равновесия и при подаче напряжения.

38) Поясните фотоэлектрические явления в полупроводниках и переходах.

39) Что такое фотопроводимость и фотогальванический эффект?

40) Поясните принцип действия фотодиода.

41) Поясните термоэлектрические явления в полупроводниках, эффект Зеебека?

42) Поясните термоэлектрические явления в полупроводниках, эффект Пельтье.

43) Поясните гальваномагнитный эффект Холла.

44) Поясните, что такое поверхностная проводимость полупроводников?

45) Поясните явление обеднения, обогащения и инверсии знака заряда в приповерхностных слоях полупроводника.

46) Что такое полевое управление токами в полупроводниковых устройствах

47) Поясните, что такое электронная эмиссия. Какие Вы знаете виды электронной эмиссии?

48) Поясните физические процессы в электровакуумных, газоразрядных и индикаторных приборах.

49) Приведите классификацию приборов по функциональному назначению, используемым физическим явлениям, технологии изготовления, виду рабочей среды, по виду энергии, действующей на входе и выходе прибора.

50) Каковы схемные функции диодов?

51) Поясните принцип действия биполярных транзисторов.

52) Поясните принцип действия полевых транзисторов.

53) Поясните принцип действия тиристоров.

54) Поясните принцип действия оптоэлектронных приборов.

6.6 Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Смирнов Ю.А. Физические основы электроники: Учебное пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. – 2-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2021. – 560 с. URL:. https://avidreaders.ru/read-book/fizicheskie-osnovy-elektroniki-1.html (дата обращения: 30.08.2024).

Дополнительная литература

1. Толмачев, В.В., Физические основы электроники / В.В. Толмачев, Ф.В. Скрипник. – изд. 2-е, испр. и доп. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. – 496 с. – URL:. https://djvu.online/file/pSwwZoFPWSUyF (дата обращения: 30.08.2024).

2. Кулагина, Л.Г. Физические основы электроники: учебное пособие / Л.Г. Кулагина, Г.Р. Еникеева. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 148 с. – URL:. https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan-new/4883.pdf (дата обращения: 30.08.2024).

3. Гасияров, В.Р. Физические основы электроники: учебное пособие / В.Р. Гасияров, А.С. Маклаков, А.А. Радионов – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – 110 с. URL:. http://gate.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000564903&dtype=F&etype=.pdf (дата обращения: 30.08.2024).

4. Овечкин, Ю.А. Полупроводниковые приборы: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Школа, 1979. – 279 с. – URL: https://www.elec.ru/files/2020/02/25/_Ovechkin_YU._A.__Poluprovodnikovuee_priborue.PDF (дата обращения: 30.08.2024).

5. Гнучев Н.М. Электроника и схемотехника. Электронные приборы. Физические основы электроники: Учеб. пособие / Н.М. Гнучев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2013. – с. – URL: https://phys-el.ru/media/files/gnuchev_eldevices.pdf (дата обращения: 30.08.2024).

Учебно-методическое обеспечение

1. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физика электронных и полупроводниковых приборов» : 2 курса всех форм обучения) : » (для студ. напр. подг. 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», проф. «Системы силовой электроники в электротехнологиях» и 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», проф. «Компьютерное проектирование систем силовой электроники» / сост. Р.Р. Пепенин ; Каф. Радиофизики . ─ Алчевск : ГОУ ВО ЛНР ДонГТИ, 2022 . ─ 73 с. – URL: https://library.dstu.education/download.php?rec=131288

7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ : официальный сайт. — Алчевск. — URL: library.dstu.education. — Текст : электронный.
2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова : официальный сайт. — Белгород. — URL: http://ntb.bstu.ru/jirbis2/. — Текст : электронный.
3. Консультант студента : электронно-библиотечная система. — Москва. — URL: http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x. — Текст : электронный.
4. Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red. — Текст : электронный.
5. IPR BOOKS : электронно-библиотечная система. — Красногорск. — URL: http://www.iprbookshop.ru/. — Текст : электронный.
6. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор): официальный сайт. — Москва. — https://www.gosnadzor.ru/. — Текст : электронный.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
Специальные помещения: *Мультимедийная лекционная аудитория (48 посадочных мест),* оборудованная специализированной (учебной) мебелью, проектор EPSON EMP-X5 (1 шт.); домашний кинотеатр HT-475 (1 шт.); персональный компьютер, локальная сеть с выходом в Internet	ауд. *206* корп. *3*
Аудитории для проведения практических занятий, для самостоятельной работы: *Компьютерный класс* (*11 посадочных мест)* для групповых и индивидуальных консультаций, организации самостоятельной работы, оборудованный учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС, доской маркерной магнитной	ауд. *207* корп. *3*
Лаборатория электронных устройств и аналоговой схемотехники (*25 посадочных мест)* для проведения лабораторных и практических занятий, для групповых и индивидуальных консультаций, для проведения курсового проектирования (выполнения курсовых работ), организации самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, оборудованная учебной мебелью, доской для написания мелом – 1 шт., учебно-лабораторными стендами «ОРАМ» – 3 шт., генераторами Г3-36А – 4 шт., осциллографами С1-83 – 4 шт., источниками питания универсальными – 2 шт., учебно-лабораторными стендами «EV8031/AVRLCD» – 3 шт., частотомерами – 5 шт., вольтметрами цифровыми – 5 шт., вольтметрами универсальными В7-16А – 3 шт., приборами Л2-22/1 – 5 шт., приборами Л2-43 – 1 шт., приборами Л2-42 – 1 шт., приборами Е4-7 – 1 шт., приборами Л2-60 – 1 шт., приборами В8-8 – 1 шт.,приборами Е7-12 – 1 шт., ваттметрами Д5007 – 2 шт.	ауд. *213* корп. *3*
Лаборатория вакуумной и полупроводниковой электроники (18 *посадочных мест)* для проведения лабораторных и практических занятий, для групповых и индивидуальных консультаций, для проведения курсового проектирования (выполнения курсовых работ), организации самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, оборудованная учебной мебелью, стендами для изучения полупроводниковой и вакуумной электроники – 7 шт., лабораторными установками – 3 шт., вольтметрами В7-35 – 16 шт., генераторами Г3-118 – 8 шт., Генераторами Г3-112 – 2 шт., осциллографами С1-76 – 6 шт., осциллографами С1-83 – 2 шт., осциллографами С1-93 – 1 шт., приборами для исследования АЧХ – 1 шт., приборами Х1-46 – 1 шт., частотомерами Ч3-34 – 4 шт., блоками питания постоянного тока Б5-49 – 1 шт., приборами Х1-50 – 1 шт., столами монтажными – 7 шт.	ауд. 106 корп. 4

Лист согласования РПД

Разработали:

Старший преподаватель кафедры электроники и радиофизики — В.И. Ушаков
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Старший преподаватель кафедры электроники и радиофизики — О.В. Бакаев
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

И.о. заведующего кафедрой электроники и радиофизики — А.М. Афанасьев
(подпись) (Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания кафедры электроники и радиофизики от 30.08.2024 г.

И.о. декана факультета информационных технологий и автоматизации производственных процессов — В.В. Дьячкова
(подпись) (Ф.И.О.)

Согласовано

Председатель методической комиссии 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, (промышленная электроника) — А.М. Афанасьев
(подпись) (Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра — О.А. Коваленко
(подпись) (Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

<table>
<tr><td colspan="2">Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений</td></tr>
<tr><td>БЫЛО:</td><td>СТАЛО:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Основание:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подпись лица, ответственного за внесение изменений</td></tr>
</table>