

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

Твердотельная электроника

(наименование дисциплины)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(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

Твердотельная электроника – направление в электронике, охватывающее изучение физических явлений в твердых телах, лежащих в основе работы приборов, технологии изготовления и применения твердотельных приборов. По конструктивно-технологическим признакам твердотельные приборы подразделяются на дискретные и интегральные. Основным видом твердотельных приборов являются полупроводниковые приборы.

Цели дисциплины: приобретение знаний по физическим основам действия твердотельных приборов, их электрическим характеристикам в статическом и динамическом режимах, реакции приборов на внешние воздействия, представлению приборов в виде электрических моделей и методов экспериментального определения параметров моделей и приборов, а также выработка навыков в совершенствовании и углублении знаний по твердотельным приборам.

Задачи изучения дисциплины: приобретение умений и навыков в расчете параметров твердотельных приборов, умения правильно выбрать прибор для построения электронной схемы с учетом поставленной задачи, обеспечить надежную эксплуатацию прибора с максимальным использованием его возможностей, а также приобретение практических навыков экспериментального определения параметров приборов и моделей.

Дисциплина нацелена на формирование:
универсальной компетенции (УК-1),
профессиональной компетенции (ПК-1) выпускника.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – дисциплина входит в часть БЛОКА 1, формируемую участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (профиль подготовки «Промышленная электроника»).

Дисциплина реализуется кафедрой электроники и радиофизики.

Основывается на базе дисциплин: «Физика», «Высшая математика», «Химия», «Физические основы электроники», «Теоретические основы электротехники».

Является основой для изучения следующих дисциплин: «Схемотехника аналоговых устройств», «Основы силовой преобразовательной техники», «Электронные силовые преобразовательные устройства», «Системы электропитания», «Математическое моделирование в электронике», «Технология производства электронных средств», «Методы и устройства испытаний электронных средств», «Техническая диагностика электронных устройств» приобретенные знания используются при прохождении производственных практик, при подготовке к процедуре защиты и защите ВКР.

Дисциплина «Твердотельная электроника»:

- формирует фундаментальные знания о принципах функционирования приборов и устройств твердотельной электроники, а также областей их применения;

- позволяет изучить физико-технические основы твердотельной электроники, составляющие её научный базис и определяющие принципы действия широкого класса приборов и устройств;

- помогает овладеть навыками проведения измерений, наблюдений и экспериментального исследования характеристик твердотельных приборов, анализа, систематизации и обобщения экспериментальных данных;

- закладывает основы для дальнейшей схемотехнической подготовки инженеров промышленной электроники.

Таким образом, изучение дисциплины «Твердотельная электроника» необходимо для понимания физических процессов, протекающих в твердотельных электронных устройствах, и их практического применения в изделиях электронной техники.

Общая трудоемкость освоения дисциплины для очной формы обучения составляет 5 зачетных единицы, 180 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (36 ак.ч.), практические (18 ак.ч.), лабораторные (36 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (90 ак.ч.).

Для очно-заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (12 ак.ч.), практические (8 ак.ч.), лабораторные (8 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (152 ак.ч.).

Для заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (6 ак.ч.), практические (4 ак.ч.), лабораторные (4 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (166 ак.ч.).

Дисциплина изучается на 2 курсе в 4 семестре для всех форм обучения.

Форма промежуточной аттестации – экзамен и дифференцированный зачет.

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

Процесс изучения дисциплины «Твердотельная электроника» направлен на формирование компетенций, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1	УК-1.1. Знает: методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа УК-1.2. Умеет: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников; применять системный подход для решения поставленных задач УК-1.3. Владеет: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств, установок электроники различного функционального назначения, электротехнических промышленных устройств и процессов в них, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1	ПК-1.1. Умеет строить физические и математические модели приборов, схем, устройств электроники ПК-1.2. Осуществляет физико-математическое описание процессов в электронных устройствах различного функционального назначения ПК-1.3. Владеет навыками работы с программами компьютерного моделирования электронных устройств ПК-1.4. Использует математическое и компьютерное моделирование для улучшения параметров электронных устройств различного функционального назначения

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 5 зачётных единиц, 180 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, выполнение курсового проекта, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, 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	Очная форма обучения	
	Всего ак.ч.	ак.ч. по семестрам
		4
Аудиторная работа, в том числе:	90	90
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	90	90
Подготовка к лекциям	8	8
Подготовка к лабораторным работам	8	8
Подготовка к практическим занятиям	8	8
Выполнение курсовой работы / проекта	36	36
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	-	-
Домашнее задание	-	-
Подготовка к контрольной работе	6	6
Аналитический информационный поиск	8	8
Работа в библиотеке	8	8
Подготовка к экзамену	6	6
Промежуточная аттестация – экзамен (Э), диф.зачет (ДЗ)	Э (2) ДЗ (2)	Э(2) ДЗ (2)
Общая трудоемкость дисциплины: ак.ч.	180	180
з.е.	5	5

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенций, приведенных в п.3 дисциплина разбита на 10 тем:

- тема 1 (Цель, задачи, содержание курса. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях);
- тема 2 (Термоэлектронная, автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Эмиссионные приборы);
- тема 3 (Устройства, основанные на взаимодействии электронного потока с высокочастотными электрическими полями);
- тема 4 (Элементарные процессы в газовых разрядах. Газоразрядные приборы);
- тема 5 (Полупроводниковые диоды. Переходные процессы в диодах. Частотные свойства диодов);
- тема 6 (Биполярные транзисторы. Переходные процессы в транзисторах);
- тема 7 (Тиристоры. Структура, основные физические процессы, принцип действия);
- тема 8 (Униполярные приборы);
- тема 9 (Оптоэлектронные приборы и приборы с объемными эффектами);
- тема 10 (Микросхемы. Понятие «интегральная схема»).

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	2	3	4	5	6	7	8
1	Цель, задачи, содержание курса. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	Отклонение зарядов электрическим полем. Цилиндрический конденсатор. Кинескоп. Движение зарядов в тормозящем электрическом поле. Движение заряженных частиц в однородном и неоднородном магнитном поле. Отклонение электронного пучка в однородном магнитном поле. Дрейф зарядов в магнитном поле. Магнитная ловушка. Магнетрон. Магнитные масс-спектрометры и масс-сепараторы	4	Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	2	Определение удельного заряда электрона методом магнетрона	4
2	Термоэлектронная, автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссии. Эмиссионные приборы	Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Формула Ричардсона-Дешмана. Силы электрического изображения и работы выхода. Эффект Шоттки. Пленочные термокатоды. Полупроводниковые термокатоды. Оксидный термокатод. Электронные лампы. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода. Физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов. Термоэлектронный	4	Эмиссионные явления	2	Исследование основных характеристик вакуумных многоэлектродных ламп	4

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		преобразователь энергии. Авто- электронная эмиссия. Автоэлек- тронный проектор. Фотоэлек- тронная эмиссия. Основные за- кономерности. Сложные фото- катоды. Фотоэлектронные устройства. Вторичная элек- тронная эмиссия и ее использо- вание в приборах. Фотоэлек- тронные и вторичные электрон- ные умножители.					
3	Устройства, осно- ванные на взаи- модействии элек- тронного потока с высокочастотны- ми электрически- ми полями	Фазовая фокусировка. Клистрон. Взаимодействие электронного потока с высокочастотными электрическими полями. Замед- ляющие системы. Взаимодей- ствие электронных потоков с замедленными бегущими элек- тромагнитными волнами. Лампа бегущей волны. Лампа обратной волны.	4	Расчет основных параметров вакуумных приборов	2	Исследование работы фото- электронного умножителя	4
4	Элементарные процессы в газо- вых разрядах. Газоразрядные приборы.	Основные направления развития вакуумной и плазменной элек- троники.. Приборы и устройства газоразрядной и плазменной электроники: неоновые лампы, газотроны, тиратроны, тригатро- ны, ВЧ-газовые разрядники, ртутные вентили, конструкции,	4	Электрический разряд в газах	2	Исследование работы газоразрядных приборов	4

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		характеристики, особенности эксплуатации и области применения.					
5	Полупроводниковые диоды. Переходные процессы в диодах. Частотные свойства диодов	Полупроводниковые диоды. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального диода. Обратная ВАХ реального диода. Тепловой ток. Ток генерации носителей в переходе. Ток истока. Пробой диода. Прямая ВАХ реального диода. Ток рекомбинации носителей в переходе. Влияние сопротивления базы и электрического поля в базе. Влияние температуры на ВАХ. Тепловой пробой. Тепловое сопротивление. Правила эксплуатации полупроводниковых диодов. Параллельное и последовательное соединение диодов. Переходные процессы в диодах. Емкости диода. Частотные свойства диодов. Переходные процессы при включении, выключении, переключении диода. Переходные процессы при синусоидальном напряжении.	4	Расчет ВАХ полупроводникового диода	2	Исследование переходных процессов в диодах	4

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
6	Биполярные тран- зисторы. Пере- ходные процессы в транзисторах.	Структура, режимы работы, схемы включения. Принцип действия. Потоки носителей заряда, составляющие токов. Коэффициент передачи тока эмиттера. Коэффициенты ин- жекции и переноса. Статичные характеристики, параметры при разных схемах включения. Сравнительная характеристика схем включения. Физические параметры. Транзистор как ли- нейный четырехполюсник, h- параметры. Модели транзисто- ра. Переходные процессы в транзисторе. Частотные харак- теристики транзистора.	4	Статические ха- рактеристики би- полярных транзи- сторов	2	Исследование переходных процессов в биполярных транзисторах	4
7	Тиристоры. Структура, основ- ные физические процессы, прин- цип действия	Вольт-амперная характери- стика. Двухтранзисторная модель. Условие переключения в пря- мое проводящее состояние. Внутренняя позитивная обрат- ная связь. Диодные и триодные тиристоры. Переходные про- цессы и импульсные свойства тиристоров. Эффекты du/dt и di/dt в тиристорах. Тиристоры, которые защелкиваются. Сим- метричные тиристоры. Тири-	4	Статистика носи- телей заряда в ПП	2	Исследование процессов включения и выключения тиристоров	4

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		сторы, которые проводят в обратном направлении. Параметры и модели тиристоров.					
8	Униполярные приборы	Эффект поля. Униполярные транзисторы с управляющим p-n переходом и переходом металл-полупроводник. МДН-транзисторы со встроенным и индуцируемым каналом. Мощные полевые транзисторы. Транзисторы со статичной индукцией.	4	Переход в равновесном и неравновесном состоянии	4	Исследование статических характеристик полевых транзисторов	4
9	Оптоэлектронные приборы и приборы с объемными эффектами.	Принцип действия и основные характеристики оптоэлектронных приборов: фоторезисторов, фотодиодов, фотоэлементов, фототранзисторов, фототиристоров, светоизлучающие диоды, оптроны. Приборы с объемными эффектами.	2			Исследование работы фоторезистора, фотодиода и фототранзистора	4
10	Микросхемы. Понятие «интегральная схема».	Пленочные, гибридные, полупроводниковые микросхемы. Смежные направления в микроэлектронике.	2				
Всего аудиторных часов			36		18		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	2	3	4	5	6	7	8
1	Цель, задачи, содержание курса. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	Отклонение зарядов электрическим полем. Цилиндрический конденсатор. Кинескоп. Движение зарядов в тормозящем электрическом поле. Движение заряженных частиц в однородном и неоднородном магнитном поле. Отклонение электронного пучка в однородном магнитном поле. Дрейф зарядов в магнитном поле. Магнитная ловушка. Магнетрон. Магнитные масс-спектрометры и масс-сепараторы	1	Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	1	Определение удельного заряда электрона методом магнетрона	1
2	Термоэлектронная, автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссии. Эмиссионные приборы	Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Формула Ричардсона-Дешмана. Силы электрического изображения и работы выхода. Эффект Шоттки. Пленочные термокатоды. Полупроводниковые термокатоды. Оксидный термокатод. Электронные лампы. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода. Физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов. Термоэлектронный	1	Эмиссионные явления	1	Исследование основных характеристик вакуумных многоэлектродных ламп	1

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		преобразователь энергии. Авто- электронная эмиссия. Автоэлек- тронный проектор. Фотоэлек- тронная эмиссия. Основные за- кономерности. Сложные фото- катоды. Фотоэлектронные устройства. Вторичная элек- тронная эмиссия и ее использо- вание в приборах. Фотоэлек- тронные и вторичные электрон- ные умножители.					
3	Устройства, осно- ванные на взаи- модействии элек- тронного потока с высокочастотны- ми электрически- ми полями	Фазовая фокусировка. Клистрон. Взаимодействие электронного потока с высокочастотными электрическими полями. Замед- ляющие системы. Взаимодей- ствие электронных потоков с замедленными бегущими элек- тромагнитными волнами. Лампа бегущей волны. Лампа обратной волны.	1	Расчет основных параметров вакуумных приборов	1	Исследование работы фото- электронного умножителя	1
4	Элементарные процессы в газо- вых разрядах. Газоразрядные приборы.	Основные направления развития вакуумной и плазменной элек- троники.. Приборы и устройства газоразрядной и плазменной электроники: неоновые лампы, газотроны, тиратроны, тригатро- ны, ВЧ-газовые разрядники, ртутные вентили, конструкции,	1	Электрический разряд в газах	1	Исследование работы газоразрядных приборов	1

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		характеристики, особенности эксплуатации и области применения.					
5	Полупроводниковые диоды. Переходные процессы в диодах. Частотные свойства диодов	Полупроводниковые диоды. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального диода. Обратная ВАХ реального диода. Тепловой ток. Ток генерации носителей в переходе. Ток истока. Пробой диода. Прямая ВАХ реального диода. Ток рекомбинации носителей в переходе. Влияние сопротивления базы и электрического поля в базе. Влияние температуры на ВАХ. Тепловой пробой. Тепловое сопротивление. Правила эксплуатации полупроводниковых диодов. Параллельное и последовательное соединение диодов. Переходные процессы в диодах. Емкости диода. Частотные свойства диодов. Переходные процессы при включении, выключении, переключении диода. Переходные процессы при синусоидальном напряжении.	2	Расчет ВАХ полупроводникового диода	1	Исследование переходных процессов в диодах	1

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
6	Биполярные тран- зисторы. Пере- ходные процессы в транзисторах.	Структура, режимы работы, схемы включения. Принцип действия. Потоки носителей заряда, составляющие токов. Коэффициент передачи тока эмиттера. Коэффициенты ин- жекции и переноса. Статичные характеристики, параметры при разных схемах включения. Сравнительная характеристика схем включения. Физические параметры. Транзистор как ли- нейный четырехполюсник, h- параметры. Модели транзисто- ра. Переходные процессы в транзисторе. Частотные харак- теристики транзистора.	2	Статические ха- рактеристики би- полярных транзи- сторов	1	Исследование переходных процессов в биполярных транзисторах	1
7	Тиристоры. Структура, основ- ные физические процессы, прин- цип действия	Вольт-амперная характери- стика. Двухтранзисторная модель. Условие переключения в пря- мое проводящее состояние. Внутренняя позитивная обрат- ная связь. Диодные и триодные тиристоры. Переходные про- цессы и импульсные свойства тириستоров. Эффекты du/dt и di/dt в тиристорах. Тиристоры, которые защелкиваются. Сим- метричные тиристоры. Тири-	1	Статистика носи- телей заряда в ПП	1	Исследование процессов включения и выключения тиристоров	1

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		сторы, которые проводят в обратном направлении. Параметры и модели тиристоров.					
8	Униполярные приборы	Эффект поля. Униполярные транзисторы с управляющим p-n переходом и переходом металл-полупроводник. МДН-транзисторы со встроенным и индуцируемым каналом. Мощные полевые транзисторы. Транзисторы со статичной индукцией.	1	Переход в равновесном и неравновесном состоянии	1	Исследование статических характеристик полевых транзисторов	0,5
9	Оптоэлектронные приборы и приборы с объемными эффектами.	Принцип действия и основные характеристики оптоэлектронных приборов: фоторезисторов, фотодиодов, фотоэлементов, фототранзисторов, фототиристоров, светоизлучающие диоды, оптроны. Приборы с объемными эффектами.	1			Исследование работы фоторезистора, фотодиода и фототранзистора	0,5
10	Микросхемы. Понятие «интегральная схема».	Пленочные, гибридные, полупроводниковые микросхемы. Смежные направления в микроэлектронике.	1				
Всего аудиторных часов			12		8		8

Таблица 5 – 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	2	3	4	5	6	7	8
1	Цель, задачи, содержание курса. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	Отклонение зарядов электрическим полем. Цилиндрический конденсатор. Кинескоп. Движение зарядов в тормозящем электрическом поле. Движение заряженных частиц в однородном и неоднородном магнитном поле. Отклонение электронного пучка в однородном магнитном поле. Дрейф зарядов в магнитном поле. Магнитная ловушка. Магнетрон. Магнитные масс-спектрометры и масс-сепараторы	0,5	Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	0,5	Определение удельного заряда электрона методом магнетрона	0,25
2	Термоэлектронная, автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссии. Эмиссионные приборы	Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Формула Ричардсона-Дешмана. Силы электрического изображения и работы выхода. Эффект Шоттки. Пленочные термокатоды. Полупроводниковые термокатоды. Оксидный термокатод. Электронные лампы. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода. Физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов. Термоэлектронный	0,5	Эмиссионные явления	0,5	Исследование основных характеристик вакуумных многоэлектродных ламп	0,25

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		преобразователь энергии. Авто- электронная эмиссия. Автоэлек- тронный проектор. Фотоэлек- тронная эмиссия. Основные за- кономерности. Сложные фото- катоды. Фотоэлектронные устройства. Вторичная элек- тронная эмиссия и ее использо- вание в приборах. Фотоэлек- тронные и вторичные электрон- ные умножители.					
3	Устройства, осно- ванные на взаи- модействии элек- тронного потока с высокочастотны- ми электрически- ми полями	Фазовая фокусировка. Клистрон. Взаимодействие электронного потока с высокочастотными электрическими полями. Замед- ляющие системы. Взаимодей- ствие электронных потоков с замедленными бегущими элек- тромагнитными волнами. Лампа бегущей волны. Лампа обратной волны.	0,5	Расчет основных параметров вакуумных приборов	0,5	Исследование работы фото- электронного умножителя	0,5
4	Элементарные процессы в газо- вых разрядах. Газоразрядные приборы.	Основные направления развития вакуумной и плазменной элек- троники.. Приборы и устройства газоразрядной и плазменной электроники: неоновые лампы, газотроны, тиратроны, тригатро- ны, ВЧ-газовые разрядники, ртутные вентили, конструкции,	0,5	Электрический разряд в газах	0,5	Исследование работы газоразрядных приборов	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	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		характеристики, особенности эксплуатации и области применения.					
5	Полупроводниковые диоды. Переходные процессы в диодах. Частотные свойства диодов	Полупроводниковые диоды. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеального диода. Обратная ВАХ реального диода. Тепловой ток. Ток генерации носителей в переходе. Ток истока. Пробой диода. Прямая ВАХ реального диода. Ток рекомбинации носителей в переходе. Влияние сопротивления базы и электрического поля в базе. Влияние температуры на ВАХ. Тепловой пробой. Тепловое сопротивление. Правила эксплуатации полупроводниковых диодов. Параллельное и последовательное соединение диодов. Переходные процессы в диодах. Емкости диода. Частотные свойства диодов. Переходные процессы при включении, выключении, переключении диода. Переходные процессы при синусоидальном напряжении.	1	Расчет ВАХ полупроводникового диода	0,5	Исследование переходных процессов в диодах	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	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
6	Биполярные тран- зисторы. Пере- ходные процессы в транзисторах.	Структура, режимы работы, схемы включения. Принцип действия. Потоки носителей заряда, составляющие токов. Коэффициент передачи тока эмиттера. Коэффициенты ин- жекции и переноса. Статичные характеристики, параметры при разных схемах включения. Сравнительная характеристика схем включения. Физические параметры. Транзистор как ли- нейный четырехполюсник, h- параметры. Модели транзисто- ра. Переходные процессы в транзисторе. Частотные харак- теристики транзистора.	1	Статические ха- рактеристики би- полярных транзи- сторов	0,5	Исследование переходных процессов в биполярных транзисторах	0,5
7	Тиристоры. Структура, основ- ные физические процессы, прин- цип действия	Вольт-амперная характери- стика. Двухтранзисторная модель. Условие переключения в пря- мое проводящее состояние. Внутренняя позитивная обрат- ная связь. Диодные и триодные тиристоры. Переходные про- цессы и импульсные свойства тириستоров. Эффекты du/dt и di/dt в тиристорах. Тиристоры, которые защелкиваются. Сим- метричные тиристоры. Тири-	0,5	Статистика носи- телей заряда в ПП	0,5	Исследование процессов включения и выключения тиристоров	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	Трудоем- кость в ак.ч.
1	2	3	4	5	6	7	8
		сторы, которые проводят в обратном направлении. Параметры и модели тиристоров.					
8	Униполярные приборы	Эффект поля. Униполярные транзисторы с управляющим p-n переходом и переходом металл-полупроводник. МДН-транзисторы со встроенным и индуцируемым каналом. Мощные полевые транзисторы. Транзисторы со статичной индукцией.	0,5	Переход в равновесном и неравновесном состоянии	0,5	Исследование статических характеристик полевых транзисторов	0,5
9	Оптоэлектронные приборы и приборы с объемными эффектами.	Принцип действия и основные характеристики оптоэлектронных приборов: фоторезисторов, фотодиодов, фотоэлементов, фототранзисторов, фототиристоров, светоизлучающие диоды, оптроны. Приборы с объемными эффектами.	0,5			Исследование работы фоторезистора, фотодиода и фототранзистора	0,5
10	Микросхемы. Понятие «интегральная схема».	Пленочные, гибридные, полупроводниковые микросхемы. Смежные направления в микроэлектронике.	0,5				
Всего аудиторных часов			6		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/sveden/eduQuality>) 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
УК-1, ПК-1	Экзамен, дифференцированный зачет	Комплект контролирующих материалов для экзамена, дифференцированного зачета

Критерии оценки знаний студентов.

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

- тестирование или устный опрос на коллоквиумах – всего 40 баллов;
- лабораторные работы – всего 40 баллов;
- практические работы – всего 20 баллов.

Экзамен проставляется автоматически, если студент набрал по текущей работе не менее 60 баллов и отчитался за все лабораторные работы. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Промежуточный экзамен по дисциплине «Твердотельная электроника» проводится в форме устного экзамена по вопросам, представленным ниже.

Экзаменационные билеты, содержащие два вопроса, составляется таким образом, чтобы каждый вопрос относился к различному модулю. Ответ на каждый вопрос оценивается из 50 баллов.

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

В структуру ФОС в форме курсового проекта входят: методические указания, содержащие требования по выполнению курсовой работы, критерии оценивания, перечень необходимых литературных источников и электронных ресурсов.

При оценке уровня выполнения курсового проекта, в соответствии с поставленными целями, проверяются следующие знания, умения и навыки:

- знание компонентов дисциплины, использованных при выполнении курсового проекта;
- умение: работать с научной и энциклопедической литературой, справочниками и электронными ресурсами; накапливать и группировать материал; последовательно и грамотно излагать мысли и оформлять выводы; придерживаться формы научного исследования;
- владение современными средствами компьютерных технологий;
- способность самостоятельно создать содержательную презентацию по теме подготовленной курсовой работы.

Следовательно, курсовые проекты, как компонент фонда оценочных средств по дисциплине «Твердотельная электроника», позволяют оценить формирование у студентов знаниевую составляющую, определенные экспериментальные умения и ведение информационного поиска, навыки исследовательской деятельности, самостоятельной работы и опыта публичных выступлений.

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) Электровакуумные фотоэлектронные приборы. Фотоэлектронный умножитель. Электронно-оптический преобразователь.
- 2) Электростатические отклоняющие системы. Магнитные отклоняющие системы.
- 3) Электростатическая фокусировка электронного потока. Электронные линзы. Электростатические фокусирующие системы. Принципы магнитной фокусировки электронного потока. Магнитные фокусирующие системы.
- 4) Вторичная электронная эмиссия. Автоэлектронная (электростатическая) эмиссия.
- 5) Энергетическое взаимодействие электромагнитного поля с заряженными частицами.
- 6) Электронные приборы СВЧ: клистроны, лампы бегущей, лампы обратной волны.
- 7) Магнетроны и магнетронные усилители.
- 8) Электронные мазеры и лазеры.

9) Принцип действия, устройство и характеристики многорезонансного пролетного клистрона.

10) Несамостоятельная проводимость газов. Условия самостоятельного разряда в газах.

11) Тлеющий разряд. Дуговой разряд. Ионные приборы

12) Колебания и волны в плазме, явления переноса в плазме.

13) Электронно-лучевая трубка.

14) Эмиссия электронов из металла. Функция распределения Ферми-Дирака. Плотность тока при термической эмиссии. Формула Ричардсона-Дэшмана.

15) Этапы развития микроэлектроники.

16) Процессы образования и уничтожения свободных носителей в беспримесных полупроводниках. Концентрация носителей и их зависимость от температуры для основных полупроводниковых материалов.

17) Легирование полупроводниковых материалов. Донорные и акцепторные полупроводники. Донорные и акцепторные уровни в примесных полупроводниках. Примесная проводимость.

18) Дрейфовые и диффузионные токи в полупроводниках.

19) Контакт металл-полупроводник.

20) Контакт полупроводников с разным типом проводимости. Образование р-п-перехода.

21) Переход в равновесном состоянии.

22) Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.

23) Барьерная и диффузионная емкости перехода. Их влияние на частотные свойства диодов.

24) Эффект поля в полупроводниках. Эффекты обогащения, обеднения и инверсии знака заряда.

25) Переходные процессы в диодах.

Оптоэлектронная аппаратура в современной микроэлектронике.

6.4 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Примеры тестовых заданий коллоквиумов:

1. Подвижность носителей заряда в сильных электрических полях:

- а) не изменяется;
- б) возрастает;
- в) уменьшается.

2. Как изменяется высота потенциального барьера $p-n$ – перехода с увеличением температуры?

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

3. Какая составляющая тока преобладает при прямом смещении p - n – перехода?

- а) тепловая;
- б) рекомбинационная;
- в) диффузионная.

4. Как изменяется ширина области объемного заряда резкого и плавного p - n – переходов при увеличении обратного напряжения?

- а) не изменяется;
- б) уменьшается;
- в) возрастает.

5. Как процессы накопления и рассасывания неосновных носителей заряда в базе диода, а также барьерная емкость влияют на его быстроедействие?

- а) уменьшают;
- б) увеличивают;
- в) не влияют.

6. Как влияет сопротивление базовой области диода на прямое падение напряжения диода?

- а) не влияет;
- б) увеличивает;
- в) уменьшает.

7. В какой схеме включения транзисторов достигается наибольшее усиление тока?

- а) ОБ;
- б) ОЭ;
- в) одинаковое.

8. При каких напряжениях на переходах обеспечивается активный режим работы n - p - n – транзистора в схеме с ОБ?

- а) $U_{ЭБ} > 0$; $U_{КБ} > 0$;
- б) $U_{ЭБ} > 0$; $U_{КБ} < 0$;
- в) $U_{ЭБ} < 0$; $U_{КБ} > 0$.

9. Тиристор – это полупроводниковый прибор, имеющий три (или более) выпрямляющих перехода, предназначенный для использования в схемах:

- а) усиления;
- б) стабилизации;
- в) переключения.

10. Почему спектральная характеристика фоторезистора имеет спад при малых длинах волн излучения?

- а) из-за увеличения поглощения света вблизи поверхности
- б) из-за усиления поверхностной рекомбинации неравновесных носителей;
- в) по двум указанным причинам.

11. Как изменяется высота потенциального барьера p - n – перехода с увеличением концентрации примесей?

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

12. Электропроводность полупроводника обусловлена донорными и акцепторными примесями с одинаковой концентрацией. Полупроводник называют:

- а) вырожденным;
- б) скомпенсированным;
- в) собственным

13. Какая составляющая тока преобладает в широкозонных полупроводниках при обратном смещении p - n – перехода?

- а) генерационная;
- б) рекомбинационная;
- в) диффузионная.

14. При прямом смещении p - n – перехода направление внешнего поля и поля контактной разности потенциалов...

- а) совпадают;
- б) противоположны;
- в) не имеет значения.

15. Какой вид пробоя преобладает в кремниевых p - n – переходах?

- а) тепловой;
- б) лавинный;
- в) туннельный.

16. Какой вид емкости p - n – перехода используется в варикапах?

- а) диффузионная;
- б) барьерная;
- в) емкость корпуса.

17. В каком режиме работы биполярного транзистора происходит усиление электрических сигналов?

- а) активном;
- б) насыщения;
- в) отсечки.

18. На какой частоте модуль коэффициента передачи тока транзистора уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с его значением на низких частотах?

- а) граничная частота $f_{\text{г}}$;
- б) предельная частота $f_{\text{г}21}$;
- в) максимальная частота генерации f_{max} .

19. МДП- транзистор с встроенным каналом в схемах усиления чаще используется:

- а) в режиме обеднения;
- б) в режиме обогащения;
- в) в обоих режимах.

20. При каком способе выключения диодного тиристора достигается меньшее время выключения?

- а) при отключении цепи питания;
- б) при изменении полярности анодного напряжения;
- в) при коротком замыкании тиристора.

21. При каких условиях в полупроводнике протекает диффузионный ток?

- а) при наличии градиента концентрации носителей;
- б) при существовании электрического поля;
- в) при повышении температуры.

22. Как зависит подвижность носителей заряда в полупроводниках с ростом температуры?

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) увеличивается и уменьшается при наличии примесей.

23. Как влияет увеличение ширины запрещенной зоны полупроводника на контактную разность потенциалов $p-n$ – перехода?

- а) не влияет;
- б) возрастает;
- в) уменьшается.

24. Как изменится напряжение лавинного пробоя диода при увеличении температуры?

- а) не изменится;
- б) возрастет;
- в) уменьшится.

25. Чтобы увеличить эффективность эмиттера нужно отношение концентрации примесей в эмиттере к концентрации примеси в базе:

- а) уменьшить;
- б) увеличить;
- в) оставить без изменения.

26. В какой схеме включения транзистора самое низкое входное сопротивление?

- А) с общим эмиттером;
- б) с общей базой;
- в) с общим коллектором.

27. Наиболее важной особенностью полевого транзистора является

- а) повышенное быстродействие;
- б) лучшие усилительные свойства;
- в) большое входное сопротивление.

28. Что характеризует наклонный участок логарифмической зависимости электропроводности полупроводника при высоких температурах?

- а) изменение удельной проводимости;
- б) ширину запрещенной зоны полупроводника;
- в) изменение концентрации примеси.

29. Пробивное напряжение диода увеличивается с ростом температуры, если пробой носит характер.

- а) лавинный;
- б) туннельный;
- в) тепловой.

30. В каких схемах включения транзисторов лучше частотные и переключающие свойства?

- а) с ОБ;
- б) с ОЭ;
- в) с ОК.

31. Какие режимы работы транзисторов являются основными в схемах транзисторных ключей?

- а) активный;
- б) насыщения;
- в) отсечки.

32. С возрастанием температуры уровень Ферми в полупроводниках смещается...

- а) к краю валентной зоны;
- б) к середине запрещенной зоны;
- в) к краю зоны проводимости.

33. Почему транзисторы с диодом Шоттки в цепи коллектор-база характеризуются повышенным быстродействием?

- а) отсутствует инжекция в коллекторном переходе;
- б) уменьшается барьерная емкость коллектора;
- в) уменьшается время рассасывания.

34. Какие структуры диодов: сплавные, диффузионные, эпитаксиально-планарные широко используются в микроэлектронике?

- а) сплавные;
- б) эпитаксиально-планарные;
- в) диффузионные.

35. Как влияет увеличение температуры на прямой и обратный токи диода?

- а) токи уменьшаются;
- б) токи возрастают;
- в) прямой ток растет, а обратный ток уменьшается.

36. С увеличением уровня легирования напряжение лавинного пробоя...

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется.

37. Какая из составляющих обратного тока преобладает в кремниевых диодах?

- а) ток насыщения;
- б) ток экстракции;
- в) ток генерации.

38. Назовите отличительные особенности обращенных диодов в сравнении с обычными выпрямительными диодами.

- а) отсутствует накопление заряда неосновных носителей;
- б) низкое быстродействие;
- в) при обратном напряжении диод проводит ток, при прямом – не проводит.

39. При переключении тиристора из выключенного состояния во включенное и обратно, время выключения...времени включения.

- а) больше;
- б) меньше;
- в) равны.

40. Тиристор – это полупроводниковый прибор, имеющий три (или более) выпрямляющих перехода, предназначенный для использования в схемах:

- а) усиления;
- б) стабилизации;
- в) переключения.

41. Как можно осуществить электрическое включение диодного тиристора?

- а) плавным увеличением анодного напряжения;
- б) быстрым увеличением анодного напряжения;
- в) тем и другим способом.

42. Какую разновидность транзисторов относят к транзисторам обедненного типа?

- а) транзисторы с индуцированным каналом;
- б) транзисторы с р-п-переходом;
- в) транзисторы с встроенным каналом.

43. Какая схема включения полевого транзистора используется чаще – с общим истоком (ОИ), с общим стоком (ОС) или с общим затвором (ОЗ)?

- а) ОИ;
- б) ОЗ;
- в) ОС.

44. МДП- транзистор с встроенным каналом в схемах усиления чаще используется:

- а) в режиме обеднения;
- б) в режиме обогащения;
- в) в обоих режимах.

45. Почему характеристики полевых транзисторов описываются уравнениями, в которых токи являются функциями напряжений, а не наоборот?

- а) из-за низкого уровня шумов;
- б) из-за высокой крутизны;
- в) из-за высокого входного сопротивления.

46. Почему в полевом транзисторе с управляющим переходом ток стока растет с увеличением напряжения на стоке?

- а) из-за усиления по току;
- б) из-за увеличения концентрации носителей заряда;
- в) длина и сопротивление канала зависят от напряжения на стоке в степени < 1 .

47. Транзисторы IGBT предназначены для использования в схемах:

- а) усиления;
- б) генерации;
- в) переключения.

48. Спектральная характеристика фоторезистора имеет спад при малых длинах волн излучения...

- а) из-за увеличения поглощения света вблизи поверхности;
- б) из-за усиления поверхностной рекомбинации неравновесных носителей;
- в) по двум указанным причинам.

49. Почему световая характеристика фоторезистора носит сублинейный характер?

- а) усиливается поглощение света;
- б) возрастает отражение;
- в) уменьшается время жизни носителей и подвижность.

50. Какие из фотоприемников могут использоваться для генерации электрической энергии при поглощении света: фоторезистор; фотоэлемент; фотодиод?

- а) фоторезистор;
- б) фотодиод;
- в) фотоэлемент.

6.5 Вопросы для подготовки к экзамену (тестовому коллоквиуму)

1. Опишите законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях.
2. Поясните, что такое дрейф заряженных частиц в магнитном поле.
3. Что такое градиентный дрейф заряженных частиц?
4. Перечислите основные типы электростатических линз. Что такое магнитные линзы?
5. Что представляют собой электронные микроскопы? Общие принципы работы.
6. Какие конструкции электронных микроскопов вам известны?
7. Что такое поперечные эффекты? Поясните, что означает разбухание пучков заряженных частиц.
8. Поясните, что такое магнитные масс-спектрометры и масс-сепараторы.
9. Поясните, что представляют собой источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны (ЛБВ), магнетроны.
10. Что такое пространственная и энергетическая группировки потоков частиц.
11. Как осуществляется взаимодействие электронного потока с высокочастотными электрическими полями?
12. Что такое замедляющие системы? Каково взаимодействие электронных потоков с замедленными бегущими электромагнитными волнами? Что такое лампа бегущей волны?
13. Поясните, что такое термоэлектронная эмиссия. Приведите и поясните формулу Ричардсона-Дешмана. Поясните понятие работы выхода.
14. Что представляют собой электронные лампы? Приведите вольт-амперную характеристику вакуумного диода. Каковы физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов?
15. Что представляют собой фотоэлектронная эмиссия? Какие фотоэлектронные устройства Вам известны?
16. Что представляют собой фотоэлектронные и вторичные электронные умножители?
17. Что представляет собой автоэлектронная эмиссия? Что такое автоэлектронный проектор?
18. Что представляет собой эмиссия под воздействием частиц?
19. Опишите элементарные процессы в газовых разрядах.
20. Какие газоразрядные приборы Вам известны?
21. Что представляют собой выпрямительные диоды, каково их назначение и основные параметры?

22. Что представляют собой импульсные диоды, каково их назначение и основные параметры?
23. Что представляют собой стабилитроны, каково их назначение и основные параметры?
24. Что представляют собой диоды Шоттки и какова их область применения?
25. Приведите и поясните прямые вольтамперные характеристики диодов Шоттки в области малых и больших токов.
26. Каким образом можно провести моделирование диодов?
27. Поясните устройство и принцип действия биполярного транзистора.
28. Что представляет собой транзисторная структура в отсутствие внешних напряжений.
29. Что представляет собой транзисторная структура при наличии внешних напряжений.
30. Перечислите составляющие токов транзистора, включённого с общей базой при работе в активном режиме.
31. Что представляют собой коэффициенты инжекции, переноса, передачи тока эмиттера.
32. Приведите и поясните статические вольтамперные характеристики транзистора, включённого по схеме с общей базой.
33. Приведите и поясните статические вольтамперные характеристики транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером.
37. Приведите и поясните сравнительные характеристики схем включения биполярного транзистора.
38. Каково влияние температуры на характеристики и параметры биполярных транзисторов?
39. Что представляют собой коэффициенты передачи тока транзисторов для различных схем включения?
40. В чем заключается явление модуляции базы и его влияние на характеристики транзистора?
41. Дайте понятие транзистора, как усилителя малого сигнала.
42. Приведите и поясните схему замещения транзистора в физических параметрах.
43. Дайте понятие транзистора как активного четырёхполюсника, перечислите h - параметры транзистора.
44. Поясните работу транзистора на высоких частотах.
45. Поясните работу транзистора в импульсном режиме.
46. Перечислите разновидности транзисторов и их параметры.
47. Поясните понятие предельных режимов работы биполярных транзисторов.

48. Приведите классификацию и основные особенности полевых транзисторов.

49. Приведите общую характеристику и особенности конструкции транзисторов с управляющим p - n переходом.

50. Поясните принцип работы транзистора с управляющим p - n переходом и горизонтальным каналом.

51. Приведите и поясните стоко-затворные характеристики транзистора с управляющим p - n переходом и горизонтальным каналом.

52. Приведите и поясните выходные (стоковые) характеристики транзистора с управляющим p - n переходом и горизонтальным каналом.

53. В чем заключаются технологические особенности изготовления конструкции транзисторов с управляющим p - n переходом?

54. Перечислите основные параметры и режимы эксплуатации транзисторов с управляющим p - n переходом.

55. Приведите типичную структуру и выходные вольтамперные характеристики транзисторов со статической индукцией.

56. Поясните принцип работы и основные характеристики транзистора с собственным каналом. Опишите режимы работы.

57. Поясните принцип работы и основные характеристики транзистора с индуцированным каналом.

58. Поясните параметры и характеристики МДП-транзисторов в усилительном режиме.

59. Поясните параметры и характеристики МДП-транзисторов в ключевом режиме.

60. Дайте сравнительную характеристику полевых и биполярных транзисторов.

61. Дайте общую характеристику и перечислите разновидности четырёхслойных полупроводниковых приборов.

62. Какие физические процессы протекают в тиристоре при подключении его в прямом направлении?

63. Какие физические процессы протекают в тиристоре при подключении его в обратном направлении?

64. Приведите и поясните вольт-амперную характеристику тиристора.

65. Приведите и поясните переходный процесс включения тиристора током управления.

66. Приведите и поясните переходный процесс включения тиристора по аноду (эффект du/dt).

67. Приведите и поясните переходный процесс выключения тиристора.

68. Приведите структуру и поясните принцип действия симметричного тиристора.

69. Приведите и поясните вольт-амперные характеристики и особенности применения симисторов.

70. Что представляют собой излучающие диоды и их характеристики?

71. Что представляют собой фотоприёмные полупроводниковые приборы и какова их характеристика? Что представляют собой оптопары?

6.6 Примерная тематика курсовых проектов

Тема курсовой работы: «Свойства полупроводников, расчет основных параметров и характеристик р-п- перехода».

Курсовая работа должна состоять из:

1. Титульного листа;
2. Оглавления;
3. Введения;
4. Расчетной части;
5. Выводов (и рекомендаций);
6. Списка литературы, приложений.

В рамках курсового проекта необходимо произвести расчет физических параметров р- и п-областей:

- расчёт эффективных плотностей состояний для зоны проводимости и валентной зоны;
- расчёт собственной концентрации носителей заряда;
- расчёт положения уровня Ферми;
- расчёт температурной зависимости положения уровня Ферми $E_f(T)$ в донорном полупроводнике;
- расчет концентрации основных и неосновных носителей заряда;
- расчет удельных электропроводностей р- и п-областей;
- расчет коэффициентов диффузии электронов и дырок;
- расчет диффузионных длин электронов и дырок.

Также необходимо провести расчет параметров р-п-перехода:

- расчет величины равновесного потенциального барьера;
- расчет контактной разности потенциалов;
- расчет ширины ОПЗ;
- расчет барьерной ёмкости при нулевом смещении;
- расчет обратного тока перехода;
- построение графика ВФХ;
- построение графика ВАХ.

Варианты задания приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Варианты задания на курсовой проект

Исходные данные						
Материал полупроводника	Si	Ge	GaAs	InSb	Si	Ge
Отн. диэл. прониц. (ϵ)	11,7	16,3	11,1	17,72	11,72	16,3
Концентрация легирующих примесей	$N_A=8,7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$, $N_D=1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$	$N_A=4,7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$, $N_D=2,7 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$	$N_A=1,4 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, $N_D=2,6 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$	$N_A=0,7 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, $N_D=5,87 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$	$N_A=0,7 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, $N_D=5,87 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$	$N_A=8,7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$, $N_D=1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$
Тип р-пперехода	резкий и несимметричный	резкий и несимметричный	резкий и несимметричный	резкий и несимметричный	резкий и несимметричный	резкий и несимметричный
Тепловой обратный ток (I_0)	0,2мкА	0,25мкА	0,17мкА	0,20мкА	0,17мкА	0,2мкА
Барьерная ёмкость (C_{ϕ_0})	1,5нФ	2нФ	1,6нФ	1,5нФ	1,5нФ	1,0нФ
Площадь поперечного сечения (S)	1,8мм ²	1,2мм ²	2,2мм ²	2,2мм ²	1,2мм ²	2,8мм ²
Ширина запрещенной зоны, эВ	1,12 эВ	0,74 эВ	1,43 эВ	0,20 эВ	1,120 эВ	0,74 эВ
Подвижность дырок при 300К, см ² /В·с	$\mu_p = 600$	$\mu_p = 1900$	$\mu_p = 400$	$\mu_p = 5000$	$\mu_p = 1500$	$\mu_p = 1600$
Подвижность электронов при 300К, см ² /В·с	$\mu_n = 1500$	$\mu_n = 3900$	$\mu_n = 8500$	$\mu_n = 78000$	$\mu_n = 780$	$\mu_n = 3500$
Эффективная масса электрона	$m_n = 1,08m_0$	$m_n = 0,56m_0$	$m_n = 0,068m_0$	$m_n = 0,013m_0$	$m_n = 0,96m_0$	$m_n = 1,08m_0$
Эффективная масса дырки	$m_p = 0,567m_0$	$m_p = 0,35m_0$	$m_p = 0,45m_0$	$m_p = 0,60m_0$	$m_p = 0,612m_0$	$m_p = 0,567m_0$
Температура окружающей среды	300 ⁰ К (примесь ионизирована)	300 ⁰ К (примесь ионизирована)	300 ⁰ К (примесь ионизирована)	300 ⁰ К (примесь ионизирована)	300 ⁰ К (примесь ионизирована)	300 ⁰ К (примесь ионизирована)
Электрическая постоянная	$8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Время жизни электронов	$\tau_n = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_n = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_n = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_n = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_n = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_n = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$
Время жизни дырки	$\tau_p = 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_p = 1,410^{-3} \text{ с}$	$\tau_p = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_p = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_p = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	$\tau_p = 10^{-3} \text{ с}$

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Сычик, В. А. Твердотельная электроника: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-41 01 01 «Технология материалов и компонентов электронной техники». – Минск: БИТУ, 2021. – 346 с. — 448 с. – URL:

https://fileskachat.com/download/116647_16bfeeb8130ca764df4930479ee707ef.html

(дата обращения: 30.08.2024).

2. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы: учебное пособие / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург; Лань, 2022. – 480 с. – URL: https://vk.com/wall-206723877_6163 (дата обращения: 30.08.2024).

Дополнительная литература

1. Захаров, А.Г. Физика. Введение в твердотельную электронику: учебное пособие / А.Г. Захаров; Южный федеральный университет. – Ростовна-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 125 с. – URL: <https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/2015/04/24/Физика-Введение-в-твердотельную-электронику.pdf> (дата обращения: 30.08.2024).

2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие - 3-е изд., доп. Москва: Техносфера, 2008. – 512 с. – URL: https://www.elec.ru/viewer?url=files/2020/01/30/Gurtov_V_A_-_Tverdotelnaya_elektronika_-_2008.pdf (дата обращения: 30.08.2024).

2. Росадо, Л. Физическая электроника и микроэлектроника / Л. Росадо. – М.: Высшая школа, 2005. – 308 с.

3. Епифанов, Г.И. Твердотельная электроника: учеб. для студ. вузов / Г.И. Епифанов, Ю.А. Мома. – М.: Высш. шк., 1986. – 304 с. – URL: <https://djvu.online/file/na6hswUwTgLnV> (дата обращения: 30.08.2024).

4. Жихарев, А.А. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы / Г.Г. Шамаева. – М: Высшая школа, 1982. – 463с.

5. Полупроводниковая электроника / [редкол.: Д.В. Чепур и др.]. - Ужгород: Ужгородский гос. ун-т, 1971. – 206 с.: ил.

6. Тугов, Н.М. Полупроводниковые приборы / Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков. – Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

7. Пасынков, В.В. Материалы электронной техники: учебник / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. 3-е изд. -СПб.: Лань, 2001. – 368с.: ил.

8. Иванов, В.И. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: справочник / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 448 с.

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.dontu.ru/download.php?rec=131288> (дата обращения: 30.08.2024).

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: <i>Мультимедийная лекционная аудитория (48 посадочных мест), оборудованная специализированной (учебной) мебелью, проектор EPSON EMP-X5 (1 шт.); домашний кинотеатр НТ-475 (1 шт.); персональный компьютер, локальная сеть с выходом в Internet</i>	ауд. <u>206</u> корп. <u>3</u>
Аудитории для проведения практических занятий, для самостоятельной работы: <i>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</i>	ауд. <u>207</u> корп. <u>3</u>
<i>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 ГЗ-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.</i>	ауд. <u>213</u> корп. <u>3</u>
<i>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 ГЗ-118 – 8 шт., Генераторами ГЗ-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 ЧЗ-34 – 4 шт., блоками питания постоянного тока Б5-49 – 1 шт., приборами Х1-50 – 1 шт., столами монтажными – 7 шт.</i>	ауд. 106_ корп. 4

Лист согласования РПД

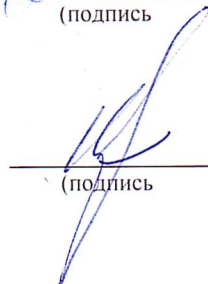
Разработали:

Старший преподаватель кафедры
электроники и радиофизики
(должность)


(подпись)

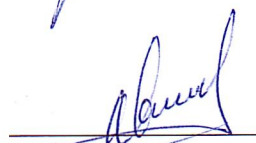
В.И. Ушаков
Ф.И.О.)

Старший преподаватель кафедры
электроники и радиофизики
(должность)


(подпись)

О.В. Бакаев
Ф.И.О.)

И.о. заведующего кафедрой
электроники и радиофизики


(подпись)

А.М. Афанасьев
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


(подпись)

В.В. Дьячкова
Ф.И.О.)

Согласовано

Председатель методической комиссии
по направлению подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(профиль «Промышленная электроника»)


(подпись)

А.М. Афанасьев
Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра


(подпись)

О.А. Коваленко
Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:	ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	