МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____Сенченко П.В.
«22» _____02_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2023 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
Самостоятельная работа	38	38	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	4

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 22.02.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 69221

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Приобретение знаний по физическим основам действия полупроводниковых приборов, их электрическим характеристикам для статического и динамического режимов работы, реакции приборов на внешние воздействия, представлению приборов в виде электрических моделей, методам экспериментального определения параметров моделей.

1.2. Задачи дисциплины

1. Приобретение навыков и умений в вопросах правильного выбора вида полупроводниковых приборов для построения электронных схем, исходя из функциональных задач, решаемых этими схемами.
2. Обеспечение грамотной эксплуатации приборов, позволяющих максимально использовать заложенные в них возможности.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Обязательная часть.
Модуль дисциплин: Модуль направления подготовки (special hard skills – SHS).
Индекс дисциплины: Б1.О.03.05.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы естественных наук и математики	Знает фундаментальную систему уравнений твердотельной электроники
	ОПК-1.2. Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области	Умеет применять физико-математический аппарат при решений задач электроники
	ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач	Владеет практическим навыком решения задач по электронике
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 69221

ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает основные физические и математические модели полупроводниковых приборов
	ПК-1.2. Умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Умеет строить физические модели полупроводниковых приборов
	ПК-1.3. Владеет навыками построения простейших физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования	Владеет практическими навыками построения физических моделей полупроводниковых приборов

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		4 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	70	70
Лекционные занятия	36	36

Согласована на портале № 69221

Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	38	38
Подготовка к тестированию	9	9
Подготовка к контрольной работе	4	4
Выполнение индивидуального задания	9	9
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	16	16
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр						
1 Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	1	2	ОПК-1, ПК-1
2 Физические основы твердотельной электроники	4	2	-	2	8	ОПК-1, ПК-1
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	4	2	-	5	11	ОПК-1, ПК-1
4 Электронно-дырочный переход	6	4	8	13	31	ОПК-1, ПК-1
5 Полупроводниковые диоды	4	2	-	1	7	ОПК-1, ПК-1
6 Биполярные транзисторы	6	6	4	9	25	ОПК-1, ПК-1
7 Тиристоры	4	-	-	1	5	ОПК-1, ПК-1
8 Полевые транзисторы	5	2	4	5	16	ОПК-1, ПК-1
9 Сенсоры, датчики, преобразователи	2	-	-	1	3	ОПК-1, ПК-1
Итого за семестр	36	18	16	38	108	
Итого	36	18	16	38	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
4 семестр			

Согласована на портале № 69221

1 Введение, цели и задачи дисциплины	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Полупроводниковые приборы, как элементы электронных цепей (схем). Понятия, определения: электронные устройства, компоненты (пассивные и активные), полупроводниковые приборы. Основные разновидности полупроводниковых приборов по выполняемым функциям и технологии. Основные разделы курса лекций. Вклад отечественных ученых в развитие полупроводниковой техники. Список рекомендуемой литературы.	1	ОПК-1, ПК-1
	Итого	1	
2 Физические основы твердотельной электроники	Элементы зонной теории полупроводников. Параметры, характеризующие свойства полупроводниковых материалов. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники. Диапазон рабочих температур полупроводниковых приборов. Равновесные и неравновесные носители зарядов в полупроводниках. Основные и неосновные носители. Закон действующих масс. Полупроводники в электрическом поле. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках. Уравнение электронейтральности. Явления на поверхности полупроводников.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 69221

3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Энергетическая диаграмма выпрямляющего контакта металл-полупроводник. Принцип выпрямления тока на контакте металл-полупроводник по энергетическим диаграммам. Вольтамперная характеристика выпрямляющего контакта металл-полупроводник. Расчет напряженности поля и потенциала на контакте металл-полупроводник. Ширина области пространственного заряда. Диод Шоттки: структура, эквивалентная схема, параметры эквивалентной схемы. Модель диода Шоттки. Эффект Шоттки. Достоинства и недостатки диода Шоттки. Омические контакты и их параметры.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 69221

4 Электронно-дырочный переход	Виды электронно-дырочных переходов (ЭДП) при контакте полупроводников. Механизм образования ЭДП. Определение ЭДП. Контактная разность потенциалов. Зависимость контактной разности потенциалов от температуры, ширины запрещенной зоны, концентрации легирующей примеси. Потоки носителей зарядов в ЭДП по энергетическим диаграммам. Одностороння проводимость p-n перехода. Некоторые понятия и определения по ЭДП. Методы получения ЭДП. Расчет напряженности электрического поля и потенциала в ЭДП. Ширина ОПЗ для резкого и плавного переходов. Вольтамперная характеристика идеального ЭДП. Диоды с "толстой" и "тонкой" базами. Вольтамперная характеристика реального ЭДП. Явления в ЭДП при высоком уровне инжекции. Диффузионная и барьерная емкости ЭДП. Эквивалентная схема ЭДП. Параметры эквивалентной схемы. Полная проводимость p-n перехода. Зависимость параметров от частоты. Переходные процессы в ЭДП. Зависимость выпрямляющих свойств ЭДП от частоты. Пробой электронно-дырочного перехода. Зависимость параметров ЭДП от температуры. Зарядоуправляемая модель ЭДП. Гетеропереходы.	6	ОПК-1, ПК-1
	Итого	6	
5 Полупроводниковые диоды	Классификация и маркировка диодов. Выпрямительные диоды. Выпрямительные столбы и блоки. Универсальные и импульсные диоды. СВЧ-диоды. Варикапы. Стабилитроны. Лавинно-пролетные диоды. Туннельные и обращенные диоды. Фотодиоды. Светодиоды. Оптопары.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 69221

6 Биполярные транзисторы	Общие сведения о биполярных транзисторах. Потоки носителей зарядов в биполярном транзисторе. Внутренние и внешние параметры биполярного транзистора. Статические параметры. Явления в биполярных транзисторах при больших токах. Модуляция толщины базы коллекторным напряжением (эффект Эрли). Пробой транзистора. Статические характеристики. Динамический режим работы биполярного транзистора. Усилительные свойства. Частотные параметры. Эквивалентная схема биполярного транзистора. Системы параметров z, y и h. Модели биполярного транзистора. Некоторые разновидности биполярных транзисторов. Основные параметры биполярных транзисторов и их ориентировочные значения. Маркировка транзисторов.	6	ОПК-1, ПК-1
	Итого	6	
7 Тиристоры	Общие сведения о тиристорах. Классификация и условно-графические обозначения тиристоров. Устройство и принцип действия диодного тиристора. Триодный незапираемый тиристор. Триодный запираемый тиристор. Симметричные тиристоры. Эффекты dU/dt и dI/dt. Основные параметры тиристоров. Маркировка тиристоров.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	

Согласована на портале № 69221

8 Полевые транзисторы	ПТ с управляющим p-n переходом. Устройство ПТ. Принцип действия. Явление отсечки канала, UOTC. Причины, приводящие к отсечке тока и приращения тока. Процессы в ПТ после отсечки приращения тока. Качественный вид выходных ВАХ. Расчет выходных ВАХ ПТ с управляющим переходом. Передаточная характеристика. Основные характеристики усилительного режима: крутизна, внутреннее сопротивление, коэффициент усиления по напряжению. Эквивалентная схема ПТ с управляющим переходом. Граничная частота, критерий граничной частоты. Схемы замещения для НЧ и ВЧ для трех схем включения ПТ. Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом (МДП-транзистор). Устройство. Принцип действия. Напряжение Unop. Качественный вид входных и выходных ВАХ МДП-транзистора. Передаточная характеристика. Расчет выходных статических характеристик. Основные параметры усилительного и ключевого режимов работы. Переходные процессы. Комплементарная пара. Эквивалентная схема. Модели МДП-транзистора: динамическая модель малого и большого сигналов. Статическая и динамическая модель мощных ПТ. Полевые транзисторы с изолированным затвором и встроенным каналом. Устройство, принцип действия, эквивалентная схема. Семейство выходных статических характеристик. Передаточные характеристики. Отличие транзистора со встроенным каналом от прибора с индуцированным каналом.	5	ОПК-1, ПК-1
	Итого	5	
9 Сенсоры, датчики, преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Полупроводниковые термоэлектрические преобразователи. Преобразовательные сенсоры. Датчики магнитного поля. Преобразователи.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	2	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

Согласована на портале № 69221

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
2 Физические основы твердотельной электроники	Расчет параметров полупроводниковых материалов. Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	2	
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Диод Шоттки.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	2	
4 Электронно-дырочный переход	Электронно-дырочный переход (ЭДП). Контактная разность потенциалов, ширина области пространственного заряда, барьерная и диффузионная емкость.	2	ОПК-1, ПК-1
	Токи в электронно-дырочном переходе.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	
5 Полупроводниковые диоды	Параметры полупроводниковых диодов	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	2	
6 Биполярные транзисторы	Схемы включения биполярных транзисторов. Режимы работы. Внутренние и внешние параметры биполярного транзистора.	2	ОПК-1, ПК-1
	Статические характеристики биполярного транзистора. Динамический режим работы. Частотные параметры. Расчет параметров эквивалентной схемы биполярного транзистора.	2	ОПК-1, ПК-1
	Расчет малосигнальных параметров биполярного транзистора.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	6	
8 Полевые транзисторы	Расчет параметров транзистора с управляющим переходом.	2	ОПК-1, ПК-1
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Согласована на портале № 69221

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
4 Электронно-дырочный переход	Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода.	4	ОПК-1, ПК-1
	Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	8	
6 Биполярные транзисторы	Исследование статических характеристик биполярного транзистора / Определение параметров биполярного транзистора.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	
8 Полевые транзисторы	Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом.	4	ОПК-1, ПК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
4 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	1		
2 Физические основы твердотельной электроники	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	2		
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	Выполнение индивидуального задания	3	ОПК-1, ПК-1	Индивидуальное задание
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	5		

Согласована на портале № 69221

4 Электронно-дырочный переход	Выполнение индивидуального задания	3	ОПК-1, ПК-1	Индивидуальное задание
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ОПК-1, ПК-1	Лабораторная работа
	Итого	13		
5 Полупроводниковые диоды	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	1		
6 Биполярные транзисторы	Выполнение индивидуального задания	3	ОПК-1, ПК-1	Индивидуальное задание
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ОПК-1, ПК-1	Лабораторная работа
	Итого	9		
7 Тиристоры	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	1		
8 Полевые транзисторы	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ОПК-1, ПК-1	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	5		
9 Сенсоры, датчики, преобразователи	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-1	Тестирование
	Итого	1		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Согласована на портале № 69221

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен
ПК-1	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
4 семестр				
Индивидуальное задание	0	10	10	20
Контрольная работа	10	0	10	20
Лабораторная работа	0	10	10	20
Тестирование	4	3	3	10
Экзамен				30
Итого максимум за период	14	23	33	100
Нарастающим итогом	14	37	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)

Согласована на портале № 69221

3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Смирнов, Ю. А. Физические основы электроники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1369-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/5856.

7.2. Дополнительная литература

1. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 9-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-0368-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/210338.

2. Твердотельная электроника [Текст] : учебное пособие / П. Е. Троян ; рец.: А. П. Коханенко, А. Ю. Ющенко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) (Томск). - Томск : Издательство ТУСУРа, 2021. - 350 с. : рис. - ISBN 978-5-86889-888-4 (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.).

3. Физика полупроводниковых приборов : Учебное пособие для вузов / Василий Иванович Гаман ; Федеральная целевая программа "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997-2000 годы". - 2-е изд., доп. и перераб. - Томск : Издательство научно-технической литературы, 2000. - 426 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.).

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Твердотельная электроника : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / П. Е. Троян ; Федеральное агентство по образованию (Томск), Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 75 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 47 экз.).

2. Твердотельная электроника : методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу твердотельная электроника / А А. Жигальский ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 59 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 29 экз.).

3. Дорогой, С. В. Физические основы электроники. Контакты металл–полупроводник : учебно-методическое пособие / С. В. Дорогой. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 50 с. — ISBN 978-5-7782-3994-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/152173.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

Согласована на портале № 69221

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Температурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».
- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.), амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория твердотельной электроники и микроэлектроники: учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115б ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные стенды: «Исследование ВАХ p-n перехода», «Исследование вольтёмкостной характеристики p-n пе-рехода» - (2 шт.), «Исследование статистических характеристик полевого транзистора со встроенным p-n переходом» (2 шт.), «Исследование статистических характеристик биполярного транзистора» (2 шт.), «Исследование переходных процессов в полупроводниковом диоде», «Физические основы электроники»;
- Источник питания Б5-31;
- Вольтметр В7-22А (2 шт.);

Согласована на портале № 69221

- Осциллограф С1-118А;
- Осциллограф АСК-1021;
- Генератор Г5-15;
- Измеритель Л2-42 (2 шт.);
- Персональный компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Согласована на портале № 69221

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Введение, цели и задачи дисциплины	ОПК-1, ПК-1	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Физические основы твердотельной электроники	ОПК-1, ПК-1	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки	ОПК-1, ПК-1	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Электронно-дырочный переход	ОПК-1, ПК-1	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Полупроводниковые диоды	ОПК-1, ПК-1	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 69221

6 Биполярные транзисторы	ОПК-1, ПК-1	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
7 Тиристоры	ОПК-1, ПК-1	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
8 Полевые транзисторы	ОПК-1, ПК-1	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
9 Сенсоры, датчики, преобразователи	ОПК-1, ПК-1	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков

Согласована на портале № 69221

4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Теоретически и экспериментально показано, что зоны разрешенных энергий разделены…
   1. зонной проводимости;
   2. запрещенной зоной;
   3. валентной зоной.
2. При T=0 K все уровни…
   1. валентной зоны не заняты, а уровни зоны проводимости заполнены;
   2. валентной зоны и зоны проводимости не заняты;
   3. валентной зоны и зоны проводимости заполнены;
   4. валентной зоны заполнены, а уровни зоны проводимости не заняты.
3. Носители в вырожденных полупроводниках подчиняются статистике…
   1. Ферми-Дирака;
   2. Бозе-Эйнштейна;
   3. Максвелла-Больцмана;
   4. Больцмана.
4. В соответствии с принципом Паули на каждом энергетическом уровне может

Согласована на портале № 69221

находиться…
1. один электрон;
2. два электрона с противоположными спинами;
3. два электрона с одинаковыми спинами;
4. бесконечно большое количество электронов.

5. Отличительной особенностью, какого класса веществ является очень сильная реакция на внешнее воздействие (температуры, освещения, воздействия электрических и магнитных полей)…
   1. полупроводники;
   2. металлы;
   3. диэлектрики.
6. Эффект односторонней проводимости диода Шоттки отражен на эквивалентной схеме…
   1. омическим сопротивлением базы;
   2. дифференциальным сопротивлением;
   3. сопротивлением растекания;
   4. емкостью плоского конденсатора, одной из обкладок которой является металл, а второй (воображаемой) обкладкой является изменяющаяся граница ОПЗ.
7. Электроны, прошедшие в металл, создают на его поверхности отрицательный заряд, а в приповерхностном слое проводника нескомпенсированные ионизованные доноры формируют положительный заряд, в результате этого процесса между металлом и полупроводником возникает…
   1. внутреннее электрическое поле;
   2. внешнее электрическое поле;
   3. магнитное поле;
   4. градиент концентрации.
8. Барьер Шоттки определяет величину потока электронов…
   1. из полупроводника в металл;
   2. из металла в полупроводник;
   3. из полупроводника в полупроводник;
   4. из металла в металл.
9. Областью пространственного заряда называется область на контакте, где…
   1. в металле повышена концентрация электронов;
   2. в металле понижена концентрация электронов;
   3. в полупроводнике понижена концентрация электронов;
   4. в полупроводнике повышена концентрация электронов.
10. Явление перехода основных носителей заряда через ОПЗ p-n перехода в область, в область, где они становятся неосновными, называется…
    1.инжекция неосновных носителей заряда;
    2. инжекция основных носителей заряда;
    3. экстракция неосновных носителей заряда;
    4. экстракция основных носителей заряда.
11. Эмиттер – это…
    1. сильнолегированная область p-n перехода, откуда идет экстракция неосновных носителей заряда;
    2. слаболегированная область p-n перехода, откуда идет экстракция неосновных носителей заряда;
    3. сильнолегированная область p-n перехода, откуда идет инжекция неосновных носителей заряда;
    4. слаболегированная область p-n перехода, откуда идет инжекция неосновных носителей заряда.
12. База – это…
    1. слаболегированная область p-n перехода, откуда идет инжекция неосновных носителей заряда;
    2. слаболегированная область p-n перехода, куда идет инжекция неосновных носителей заряда;
    3. сильнолегированная область p-n перехода, куда идет инжекция неосновных носителей заряда;

Согласована на портале № 69221

4. сильнолегированная область p-n перехода, откуда идет инжекция неосновных носителей заряда.

13. Какой ток возникает из-за загрязнения поверхности полупроводника и может существенно влиять на обратную ветвь ВАХ при достаточно больших обратных напряжениях?
    1. ток тепловой генерации;
    2. канальный ток;
    3. ток утечки;
    4. ток насыщения.
14. Какой ток возникает в результате адсорбции электроположительных или электроотрицательных частиц на поверхности полупроводника?
    1. ток тепловой генерации;
    2. канальный ток;
    3. ток утечки;
    4. ток насыщения.
15. К числу предельных параметров выпрямительных диодов не относится…
    1. максимальная мощность;
    2. максимальная рабочая температура;
    3. допустимый прямой ток;
    4. максимальная рабочая частота.
16. Время установления прямого напряжения является параметром…
    1. импульсного диода;
    2. выпрямительного диода;
    3. СВЧ-диода;
    4. смесительного диода.
17. Полупроводниковый прибор, представляющий из себя электрически управляемую емкость, называется…
    1. стабилитрон;
    2. стабистор;
    3. варикап;
    4. лавинно-пролетный диод.
18. Полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования высокочастотных сигналов в сигнал промежуточной частоты, называется…
    1. импульсный диод;
    2. выпрямительный диод;
    3. СВЧ-диод;
    4. смесительный диод.
19. Все стабилитроны производятся на основе…
    1. фосфида индия;
    2. арсенида галлия;
    3. германия;
    4. кремния.
20. Полупроводниковый диод, на обратной ветви ВАХ которого имеется участок, где малому изменению напряжения соответствует большой диапазон изменения тока, называется…
    1. стабилитроном;
    2. варикапом;
    3. стабистором;
    4. туннельным.
21. Полупроводниковый прибор, содержащий два взаимодействующих электронно-дырочных перехода, три или более выводов, называется…
    1. полевой транзистор;
    2.биполярный транзистор;
    3. стабилитрон;
    4. тиристор.
22. Усилительные, генераторные и переключательные свойства биполярного транзистора обусловлены явлениями…
    1. инжекции неосновных и экстракции основных носителей зарядов;

Согласована на портале № 69221

2. инжекции основных и экстракции неосновных носителей зарядов;
3. инжекции и экстракции основных носителей зарядов;
4. инжекции и экстракции неосновных носителей зарядов.

23. Биполярный транзистор имеет выводы…
1.эмиттер, базу и коллектор;
2. эмиттер, базу и сток;
3. база, коллектор и исток;
4. исток, затвор и сток.

24. Основное значение эмиттерного перехода - …
1. инжекция основных носителей в базу;
2. экстракции основных носителей в базу;
3. инжекция неосновных носителей в базу;
4. экстракция неосновных носителей в базу.

25. Основное назначение коллекторного перехода - …
1. инжекция основных носителей из базы;
2. экстракции основных носителей из базы;
3. инжекция неосновных носителей из базы;
4. экстракция неосновных носителей из базы.

26. Биполярный транзистор – это…
1. управляемый током пассивный элемент электроники;
2. управляемый током активный элемент электроники;
3. управляемый напряжением пассивный элемент электроники;
4. управляемый напряжением активный элемент электроники.

27. Отличительной особенностью схем с ОЭ (общим эмиттером) и ОБ (общей базой) является…
1. малое выходное сопротивление, тогда как в схеме с ОК (общим коллектором) имеет высокое выходное сопротивление;
2. большое выходное сопротивление, тогда как в схеме с ОК (общим коллектором) имеет малое выходное сопротивление;
3. большое входное сопротивление, тогда как в схеме с ОК (общим коллектором) имеет малое входное сопротивление;
4. малое входное сопротивление, тогда как в схеме с ОК (общим коллектором) имеет высокое входное сопротивление.

28. Активный режим работы биполярного транзистора осуществляется тогда, когда…
1. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в прямом направлении;
2. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в обратном направлении;
3. эмиттерный переход смещен в обратном направлении, коллекторный в прямом.
4. эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный в обратном.

29. В закрытом состоянии сопротивление тиристора…
1. высоко, и он пропускает большой ток;
2. высоко, и он пропускает малый ток;
3. мало, и он пропускает малый ток;
4. мало, и он пропускает большой ток.

30. В открытом состоянии сопротивление тиристора…
1. высоко, и через него протекает большой ток;
2. высоко, и через него протекает малый ток;
3. мало, и через него протекает малый ток;
4. мало, и через него протекает большой ток.

31. Типичная структура тиристора…
1. двуслойная;
2. трехслойная;
3. четырехслойная;
4. пятислойная.

32. В транзисторах с управляющим p-n переходом в качестве затвора используется область, тип электропроводности которой…
1. противоположен типу электпроводности истока;
2. противоположен типу электропроводности стока;

Согласована на портале № 69221

3. совпадает с типом электпроводности в канале;
4. противоположен типу электропроводности канала.

33. В транзисторах с изолированным затвором между металлическим затвором и проводящим каналом расположен тонкий слой…
    1.диэлектрика;
    2. металла;
    3. полупроводника с противоположенным типом проводимости, чем в канале;
    4. полупроводника с таким же типом проводимости, что и в канале.
34. Режим работы полевого транзистора с управляющим p-n переходом с частичным перекрытием канала называется…
    1. режимом отсечки;
    2. линейным режимом;
    3. режимом насыщения;
    4. активным режимом.
35. Режим работы полевого транзистора с управляющим p-n переходом без перекрытия канала называется…
    1. режимом отсечки;
    2. линейным режимом;
    3. режимом насыщения;
    4. активным режимом.
36. Дифференциальный параметр, характеризующий управляющее действие затвора, называется…
    1.крутизной;
    2. выходной проводимостью;
    3. коэффициентом усиления;
    4. внутреннее сопротивление транзистора.
37. Дифференциальный параметр, характеризующий сравнительное воздействие напряжений стока и затвора на ток стока называется…
    1. крутизной;
    2. выходной проводимостью;
    3. коэффициентом усиления;
    4. внутреннее сопротивление транзистора.
38. Каким из нижеперечисленных параметров терморезистор не характеризуется…
    1. постоянная времени;
    2. максимально допустимая температура;
    3. максимальная допустимая мощность рассеяния;
    4. температурный коэффициент сопротивления;
    5. температурный коэффициент напряжения.
39. Сопротивление нагрузки и напряжение источника питания выбирается таким образом, чтобы нагрузочная линия пересекала ВАХ терморезистора в…
    1. одной точке;
    2. двух точках;
    3. трех точках;
    4. четырех точка.
40. Преимуществами диодных датчиков является…
    1. высокая чувствительность и большой потребляемый ток;
    2. высокая чувствительность и малый потребляемый ток;
    3. низкая чувствительность и большой потребляемый ток;
    4. низкая чувствительность и малый потребляемый ток.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Элементы зонной теории полупроводников.
2. Параметры полупроводниковых материалов.
3. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники.
4. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники.
5. Диапазон рабочих температур полупроводниковых приборов.
6. Равновесные и неравновесные носители зарядов в полупроводниках.

Согласована на портале № 69221

7. Основные и неосновные носители. Закон действующих масс.
8. Полупроводники в электрическом поле.
9. Генерация и рекомбинация носителей в полупроводниках.
10. Уравнение электронейтральности.
11. Явления на поверхности полупроводников.
12. Энергетическая диаграмма выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
13. Принцип выпрямления тока на контакте металл-полупроводник по энергетическим диаграммам.
14. Вольтамперная характеристика выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
15. Расчет напряженности поля и потенциала на контакте металл-полупроводник. Ширина области пространственного заряда.
16. Диод Шоттки: структура, эквивалентная схема, параметры эквивалентной схемы.
17. Эффект Шоттки.
18. Достоинства и недостатки диода Шоттки.
19. Омические контакты и их параметры.
20. Виды электронно-дырочных переходов (ЭДП) при контакте полупроводников.
21. Механизм образования ЭДП. Определение ЭДП.
22. Контактная разность потенциалов.
23. Потоки носителей зарядов в ЭДП по энергетическим диаграммам. Односторонняя проводимость p-n перехода.
24. Расчет напряженности электрического поля и потенциала в ЭДП. Ширина ОПЗ для резкого и плавного переходов.
25. Диффузионная и барьерная емкости ЭДП.
26. Эквивалентная схема ЭДП. Параметры эквивалентной схемы.
27. Переходные процессы в ЭДП.
28. Пробой электронно-дырочного перехода.
29. Зарядоуправляемая модель ЭДП.
30. Гетеропереходы.
31. Классификация и маркировка диодов.
32. Выпрямительные диоды. Выпрямительные столбы и блоки.
33. Универсальные и импульсные диоды.
34. Варикапы.
35. Стабилитроны.
36. Туннельные и обращенные диоды.
37. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы.
38. Дрейфовый и бездрейфовый БТ.
39. Схема потоков носителей в БТ.
40. Внутренние параметры БТ.
41. Внешние параметры БТ.
42. Эффект Эрли.
43. Статические характеристики БТ.
44. Частотные параметры БТ.
45. Эквивалентная схема БТ.
46. БТ как четырехполюсник. Система y, z, h – параметров.
47. Модель Эберса–Молла.
48. Классификация и маркировка БТ.
49. Полевые транзисторы (ПТ): определение, виды.
50. ПТ с управляющим переходом и барьером Шоттки.
51. ПТ с индуцированным и встроенным каналом.
52. Комплементарная пара. Параметры ПТ. Достоинства и недостатки.
53. Вертикальный МДП-транзистор.
54. Тиристоры: определение, виды.
55. Принцип действия диодного тиристора.
56. Триодный тиристор.
57. Симметричный тиристор.
58. Полупроводниковые датчики, преобразователи.

Согласована на портале № 69221

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

Кристалл кремния содержит доноры $N_D = 5 \cdot 10^{14}\ см^{-3}$ и акцепторы $N_A = 10^{14}\ см^{-3}$.

1. Под действием внешнего поля $E = 10\ В/см$ в полупроводнике возникает ток с плотностью $j = 0{,}96\ А/см^2$. Определить скорость дрейфа, подвижность и тип носителей заряда.

2. Определить энергию Ферми электронов в вырожденном полупроводнике, если его удельное сопротивление $\rho = 6{,}25 \cdot 10^{-3}\ Ом \cdot см$, подвижность $\mu_n = 100\ см^2/В \cdot с$ и эффективная масса $m_n^* = m_0$.

3. К $p-n$ переходу приложено прямое смещение $U = 100\ мВ$. Определить дифференциальное сопротивление перехода при температуре $T = 600\ К$, если ток насыщения диода $I_s = 10^{-6}\ А$.

4. Под действием прямого смещения через несимметричный $(n_n \gg p_p)$ резкий $p-n$ переход течет ток $I = 10^{-4}\ А$. Определить диффузионную емкость $p-n$ перехода при температуре $T = 300\ К$, если время жизни неосновных носителей $\tau = 50\ мкс$.

5. В резком германиевом $p-n$ переходе $n-$область имеет удельную проводимость $\sigma_n = 0{,}2\ (Ом \cdot см)^{-1}$, а в $p-$области $\sigma_p \gg \sigma_n$. Определить плотность тока насыщения, если подвижность и время жизни дырок $\mu_p = 1900\ см^2/В \cdot с$ и $\tau_p = 5 \cdot 10^{-5}\ с$, температура $T = 300\ К$, отношение подвижностей $b = \mu_n/\mu_p = 2$, собственная концентрация $n_i = 2{,}5 \cdot 10^{13}\ см^{-3}$.

6. Кремниевый $p-n-p$ транзистор имеет ширину базы $W = 5\ мкм$ и удельное сопротивление базы $\rho_б = 0{,}5\ Ом \cdot см$, подвижность электронов $\mu_n = 1200\ см^2/В \cdot с$. Удельное сопротивление коллектора $\rho_к \ll \rho_б$. Определить напряжение прокола базы.

9.1.4. Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий

Диод Шоттки изготовлен на кремниевой пластине толщиной 150 мкм с концентрацией электронов $n_0 = 10^{16}$ см$^{-3}$. При обратном смещении $U_{обр} = 12$В через диод течет ток $I_{обр} = 1{,}6 \cdot 10^{-9}$ А. площадь контакта $S = 10^{-5}$ см^2. Потенциальная энергия на поверхности $\varphi_б = 0{,}6$ эВ.

1. Определить:
   1. удельное сопротивление полупроводника;
   2. сопротивление контакта Шоттки $R_Ш$.
   3. сопротивление базы диода;
   4. емкость контакта при $U_{обр} = 12$В;
   5. частоту, соответствующую максимальной добротности диода.

Согласована на портале № 69221

2. Диод Шоттки изготовлен на кремнии с концентрацией электронов $n_0 = 10^{15}$ см$^{-3}$. Разность работ выхода $\varphi_0 = 0,55$ эВ. Площадь контакта $S = 10^{-4}$ см^2. При наличии прямого смещения $U_{пр} = 0,25$ В через диод течет ток $I_{пр} = 2 \cdot 10^{-9}$ А.

Определить:

1. изменение высоты барьера за счет эффекта Шоттки;
2. барьер Шоттки $\varphi_б$;
3. ток насыщения диода.

3. Рассчитать параметры исходного материала для изготовления германиевого сплавного диода с максимальным обратным допустимым напряжением 150 В. Определить:

1. концентрацию доноров;
2. концентрацию неосновных носителей;
3. подвижности основных и неосновных носителей;
4. удельное сопротивление;
5. коэффициенты основных и неосновных носителей.

4. Структура кремниевого диода получена диффузией фосфора. Концентрация примеси на поверхности сильнолегированной области $N_{D0} = 3 \cdot 10^{19}$ $см^{-3}$. Концентрация на глубине залегания $p-n$ перехода $x_j = 20 \cdot 10^{-4}$ $см$ равна $N_D = 8 \cdot 10^{16}$ $см^{-3}$. Допустимое значение прямого тока $I_{пр.доп.} = 800$ $мА$.

1. Определить:

а) допустимое значение обратного напряжения;

б) ток насыщения и ток генерации в $p-n$ переходе при $U_{обр.доп.}$;

2. Рассчитать и построить вольт-амперную характеристику.

5. Кремниевый n-p-n транзистор имеет однородно легированную базу с удельным сопротивлением 4 Ом*см. Напряжение на коллекторе 5В, коэффициент обратной связи по напряжению -0,0001. Определить сопротивление активной базы, коэффициент передачи базового тока, граничную и предельную частоты коэффициентов передачи тока базы и эмиттера.
6. Для p-n-p транзистора, включенного в схеме с общим коллектором, определить h-параметры, если известно, что Rэ=20 Ом, Rб=120 Ом, Rк=1,2 МОм, Iк=1,27 мА, Iэ=1,3 мА. Коэффициент инжекции принять равным 1.

9.1.5. Темы лабораторных работ

1. Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода.
2. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде.
3. Исследование статических характеристик биполярного транзистора / Определение параметров биполярного транзистора.
4. Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом.

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Согласована на портале № 69221

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

Согласована на портале № 69221

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 69221

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
И.О. начальника учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Профессор, каф. ПрЭ	Н.С. Легостаев	Согласовано, 6332ca5f-c16e-4579-bbc4-ee49773dfd8d
Заведующий кафедрой, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Разработано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8

Согласована на портале № 69221