МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по УРиМД
_____Нариманова Г.Н.
«05» _____03_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Микросенсорика интеллектуальных систем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора 2025 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	5 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
Самостоятельная работа	74	74	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Зачет с оценкой	5

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Нариманова Г.Н.
Должность: И.о. проректора по УРиМД
Дата подписания: 05.03.2025
Уникальный программный ключ:
eb4e14e0-de8d-48f7-bf05-ceacb167edfe

Томск

Согласована на портале № 83534

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Формирование у обучающихся компетенций, предусмотренных данной рабочей программой в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника".

1.2. Задачи дисциплины

1. Сформировать у обучающихся теоретические знания в области физических принципов работы, функциональных возможностей, методов исследования электронных приборов, в которых движение электронов или иных носителей заряда, обуславливающих электрический ток, происходит в объёме твёрдого тела.
2. Освоение способности построения простейших физических и математических моделей полупроводниковых приборов.
3. Развить способности к экспериментальному исследованию параметров и характеристик полупроводниковых приборов.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль направленности (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.02.01.
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		
-	-	-
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 83534

ПК-1. Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	ПК-1.1. Знает основные физические и математические модели объектов микро- и наносистемной техники	Знает базовые физические и математические модели полупроводниковых приборов
	ПК-1.2. Знает основные программные средства для физического и математического моделирования приборов и устройств микро- и наносистемной техники	Знает основные программные продукты для физического и математического моделирования полупроводниковых приборов
	ПК-1.3. Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей	Умеет проводить расчет параметров полупроводниковых приборов
	ПК-1.4. Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования	Способен проводить расчет параметров полупроводниковых приборов с использованием современного программного обеспечения
ПК-6. Готов рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники	ПК-6.1. Знает основные методики проектирования и расчета компонентов нано- и микросистемной техники	Знает основные методики расчета параметров полупроводниковых приборов
	ПК-6.2. Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники	Умеет применять на практике эффективные методики расчета параметров полупроводниковых приборов
	ПК-6.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники	Способен проводить расчет и проектирование полупроводниковых приборов с использованием современного программного обеспечения

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
		5 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	70	70
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16

Согласована на портале № 83534

Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	74	74
Подготовка к зачету с оценкой	12	12
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	40	40
Подготовка к тестированию	10	10
Подготовка к контрольной работе	12	12
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
5 семестр						
1 Электронно-дырочный переход. Диоды на основе электронно-дырочного перехода	4	4	8	24	40	ПК-1, ПК-6
2 Биполярные транзисторы	16	8	4	22	50	ПК-1, ПК-6
3 Тиристоры	4	-	-	4	8	ПК-1, ПК-6
4 Полевые транзисторы	10	4	4	20	38	ПК-1, ПК-6
5 Твердотельные сенсоры, датчики, преобразователи	2	2	-	4	8	ПК-1, ПК-6
Итого за семестр	36	18	16	74	144	
Итого	36	18	16	74	144	

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
5 семестр			

Согласована на портале № 83534

1 Электронно-дырочный переход. Диоды на основе электронно-дырочного перехода	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. Односторонння 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. 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	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	

Согласована на портале № 83534

2 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.	16	ПК-1, ПК-6
	Итого	16	
3 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. Основные параметры тиристоров. Маркировка тиристоров.	4	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	

Согласована на портале № 83534

4 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. Транзисторы с n-каналами и самосовмещенными затворами. Параметры и характеристики транзисторов с короткими каналами. Разновидности полевых транзисторных структур СБИС. Особенности полевых транзисторов с управляющими переходами в интегральном исполнении. Паразитная связь между элементами через полуизолирующую подложку. Интегральные схемы на ПТШ на основе арсенида галлия.	10	ПК-1, ПК-6
	Итого	10	

Согласована на портале № 83534

5 Твердотельные сенсоры, датчики, преобразователи	Датчики температуры, давления, магнитных полей, датчики парциальных давлений. Полупроводниковые термоэлектрические преобразователи. Преобразовательные сенсоры. Датчики магнитного поля. Преобразователи.	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	2	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

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
5 семестр			
1 Электронно-дырочный переход. Диоды на основе электронно-дырочного перехода	Электронно-дырочный переход (ЭДП). Контактная разность потенциалов. Ширина области пространственного заряда.	2	ПК-1, ПК-6
	Барьерная и диффузионная емкость p-n перехода. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Параметры диодов на основе p-n перехода.	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	
2 Биполярные транзисторы	Схемы включения биполярных транзисторов. Режимы работы	2	ПК-1, ПК-6
	Расчет внешних и внутренних параметров биполярного транзистора. Эффект Эрли в биполярных транзисторах.	2	ПК-1, ПК-6
	Расчет параметров эквивалентной схемы биполярного транзистора. Расчет малосигнальных параметров биполярного транзистора.	2	ПК-1, ПК-6
	Расчет малосигнальных параметров биполярного транзистора	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	8	
4 Полевые транзисторы	Расчет параметров транзистора с управляющим переходом	2	ПК-1, ПК-6
	Расчет параметров МДП-транзистора	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	
5 Твердотельные сенсоры, датчики, преобразователи	Расчет параметров термоэлектрических и гальваномагнитных приборов	2	ПК-1, ПК-6
	Итого	2	
Итого за семестр		18	

Согласована на портале № 83534

Итого	18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
5 семестр			
1 Электронно-дырочный переход. Диоды на основе электронно-дырочного перехода	Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде	4	ПК-1, ПК-6
	Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода/Исследование полупроводникового стабилитрона	4	ПК-1, ПК-6
	Итого	8	
2 Биполярные транзисторы	Исследование биполярного транзистора / Определение параметров биполярного транзистора.	4	ПК-1, ПК-6
	Итого	4	
4 Полевые транзисторы	Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом/Исследование полевого тетрода	4	ПК-1, ПК-6
	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
5 семестр				
1 Электронно-дырочный переход. Диоды на основе электронно-дырочного перехода	Подготовка к зачету с оценкой	2	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	16	ПК-1, ПК-6	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	4	ПК-1, ПК-6	Контрольная работа
	Итого	24		

Согласована на портале № 83534

2 Биполярные транзисторы	Подготовка к зачету с оценкой	4	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой
	Подготовка к контрольной работе	8	ПК-1, ПК-6	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	8	ПК-1, ПК-6	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Итого	22		
3 Тиристоры	Подготовка к зачету с оценкой	2	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Итого	4		
4 Полевые транзисторы	Подготовка к зачету с оценкой	2	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	16	ПК-1, ПК-6	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Итого	20		
5 Твердотельные сенсоры, датчики, преобразователи	Подготовка к зачету с оценкой	2	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	2	ПК-1, ПК-6	Тестирование
	Итого	4		
Итого за семестр		74		
Итого		74		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

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

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.	
ПК-1	+	+	+	+	Зачёт с оценкой, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование
ПК-6	+	+	+	+	Зачёт с оценкой, Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование

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

Согласована на портале № 83534

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
5 семестр				
Зачёт с оценкой	5	5	10	20
Контрольная работа	10	10	10	30
Лабораторная работа	0	10	10	20
Тестирование	10	10	10	30
Итого максимум за период	25	35	40	100
Нарастающим итогом	25	60	100	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)
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. Троян П.Е. Твердотельная электроника : 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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.).

7.2. Дополнительная литература

1. Гуртов В. А. Твердотельная электроника : Учебное пособие для вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 406 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 84 экз.).

2. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 9-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 480 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/210338.

Согласована на портале № 83534

3. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 2. Микроэлектроника : учебник для вузов / А. А. Щука, А. С. Сигов ; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 326 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://urait.ru/bcode/561577.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Штейнбрехер, В. В. Полупроводниковые приборы: Лабораторный практикум : учебное пособие / В. В. Штейнбрехер. — Тамбов : ТГУ им. Г.Р.Державина, 2019. — 90 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/156861.

2. Давыдов В.Н. Твердотельная электроника : Методические указания к лабораторным работам / В. Н. Давыдов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 77 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 80 экз.).

3. Давыдов В.Н. Твердотельная электроника : Учебно-методическое пособие / В. Н. Давыдов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 171 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 99 экз.).

4. Аграфонов, Ю. В. Физическая электроника : практическое пособие для вузов / Ю. В. Аграфонов, И. С. Петрушин, Н. Л. Лазарева. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 103 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://urait.ru/bcode/569198.

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:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

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

Согласована на портале № 83534

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.);
- 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, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

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

Перечень программного обеспечения:

Согласована на портале № 83534

- 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

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Электронно-дырочный переход. Диоды на основе электронно-дырочного перехода	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Биполярные транзисторы	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

Согласована на портале № 83534

3 Тиристоры	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
4 Полевые транзисторы	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
5 Твердотельные сенсоры, датчики, преобразователи	ПК-1, ПК-6	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

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
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

Согласована на портале № 83534

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. Полупроводниковый прибор, содержащий два взаимодействующих электронно-дырочных перехода, три или более выводов, называется…
   а. полевой транзистор;
   б. биполярный транзистор;
   в. стабилитрон;
   г. тиристор.
2. Усилительные, генераторные и переключательные свойства биполярного транзистора обусловлены явлениями...
   а. инжекции неосновных и экстракции основных носителей зарядов;
   б. инжекции основных и экстракции неосновных носителей зарядов;
   в. инжекции и экстракции основных носителей зарядов;
   г. инжекции и экстракции неосновных носителей зарядов.
3. Биполярный транзистор имеет выводы…
   а. эмиттер, базу и коллектор;
   б. эмиттер, базу и сток;
   в. база, коллектор и исток;
   г. исток, затвор и сток.
4. Основное значение эмиттерного перехода - …
   а. инжекция основных носителей в базу;
   б. экстракции основных носителей в базу;
   в. инжекция неосновных носителей в базу;
   г. экстракция неосновных носителей в базу.
5. Основное назначение коллекторного перехода - …
   а. инжекция основных носителей из базы;
   б. экстракции основных носителей из базы;
   в. инжекция неосновных носителей из базы;
   г. экстракция неосновных носителей из базы.
6. Биполярный транзистор – это…
   а. управляемый током пассивный элемент электроники;
   б. управляемый током активный элемент электроники;
   в. управляемый напряжением пассивный элемент электроники;

Согласована на портале № 83534

г. управляемый напряжением активный элемент электроники.

7. Активный режим работы биполярного транзистора осуществляется тогда, когда…
   а. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в прямом направлении;
   б. эмиттерный и коллекторный переходы смещены в обратном направлении;
   в. эмиттерный переход смещен в обратном направлении, коллекторный в прямом;
   г. эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный в обратном.
8. В транзисторах с управляющим p-n переходом в качестве затвора используется область, тип электропроводности которой…
   а. противоположен типу электропроводности истока;
   б. противоположен типу электропроводности стока;
   в. совпадает с типом электропроводности в канале;
   г. противоположен типу электропроводности канала.
9. В транзисторах с изолированным затвором между металлическим затвором и проводящим каналом расположен тонкий слой…
   а. диэлектрика;
   б. металла;
   в. полупроводника с противоположенным типом проводимости, чем в канале;
   г. полупроводника с таким же типом проводимости, что и в канале.
10. Дифференциальный параметр, характеризующий управляющее действие затвора, называется…
    а. крутизной;
    б. выходной проводимостью;
    в. коэффициентом усиления;
    г. внутреннее сопротивление транзистора

9.1.2. Перечень вопросов для зачета с оценкой

1. Элементы зонной теории полупроводников;
2. Параметры полупроводниковых материалов;
3. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники;
4. Равновесные и неравновесные носители зарядов в полупроводниках;
5. Биполярный транзистор (БТ): определение, схемы включения, режимы работы;
6. Эффект Эрли в биполярно транзисторе;
7. Полевые транзисторы с индуцированным и встроенным каналом.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. 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.
2. Плотность дрейфового тока в кремнии n-типа составляет 200 А/см^2 при напряженности электрического поля 10 кВ/см. Определить удельное сопротивление полупроводника.
3. Удельное сопротивление собственного германия равно 0,43 Ом*м. Определить собственную концентрацию носителей в германии при Т = 300К.
4. 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.
5. Определить скорость дрейфа электронов и дырок в германии, если полупроводник находится в электрическом поле 1000 В/см.
6. Определить ширину запрещенной зоны в германии при Т=500 К, если при комнатной температуре она составляет 0,658 эВ.

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Изучение переходных процессов в полупроводниковом диоде
2. Исследование вольт-амперной характеристики p-n перехода/Исследование полупроводникового стабилитрона

Согласована на портале № 83534

3. Исследование биполярного транзистора / Определение параметров биполярного транзистора.
4. Исследование характеристик полевого транзистора с управляющим p-n переходом/Исследование полевого тетрода

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.

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.

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

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

Согласована на портале № 83534

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;
– 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

Согласована на портале № 83534

процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 163 от «26» 11 2024 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Профессор, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Разработано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Согласована на портале № 83534