МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по УР
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Проектирование и технология микросистем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**
Курс: **2**
Семестр: **4**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	4 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	18	18	часов
Практические занятия	18	18	часов
Самостоятельная работа	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	72	72	часов
	2	2	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Зачет	4

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по УР
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 84809

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Приобретение знаний по физическим основам работы контакта металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник, а также по работе полупроводниковых приборов и их электрическим характеристикам.

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. Приобретение навыков и умений по исследованию характеристик полупроводниковых приборов.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Обязательная часть.
Модуль дисциплин: Модуль фундаментальной инженерной подготовки (general hard skills - GHS).
Индекс дисциплины: Б1.О.02.09.
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 решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы естественных наук и математического анализа	Знает основные физические и математические модели полупроводниковых диодов
	ОПК-1.2. Умеет использовать физические и математические законы при решении задач профессиональной деятельности	Умеет строить физические и математические модели полупроводниковых диодов
	ОПК-1.3. Владеет физическим и математическим аппаратом для решения профессиональных задач	Владеет базовыми навыками работы в программах для моделирования свойств и характеристик полупроводниковых приборов
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 84809

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 и характеристик полупроводниковых приборов
	ПК-6.2. Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники	Умеет рассчитывать параметры и характеристики полупроводниковых приборов
	ПК-6.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники	Владеет экспериментальными методиками определения параметров и характеристик 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 2 зачетных единиц, 72 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	36	36
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	36	36
Подготовка к зачету	9	9
Подготовка к тестированию	7	7
Подготовка к контрольной работе	8	8
Подготовка к письменному опросу	8	8
Выполнение индивидуального задания	4	4
Общая трудоемкость (в часах)	72	72
Общая трудоемкость (в з.е.)	2	2

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	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
4 семестр					
1 Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	2	3	ОПК-1, ПК-6
2 Физические основы твердотельной электроники	3	6	8	17	ОПК-1, ПК-6

Согласована на портале № 84809

3 Контакт металл полупроводник. Диод Шоттки	3	2	9	14	ОПК-1, ПК-6
4 Электронно-дырочный переход	6	8	9	23	ОПК-1, ПК-6
5 Полупроводниковые диоды	5	2	8	15	ОПК-1, ПК-6
Итого за семестр	18	18	36	72	
Итого	18	18	36	72	

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			
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-6
	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	3	ОПК-1, ПК-6
	Итого	3	

Согласована на портале № 84809

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	3	ПК-6
	Итого	3	

Согласована на портале № 84809

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. Односторонняя 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-6
	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	5	ОПК-1, ПК-6
	Итого	5	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.
Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Согласована на портале № 84809

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
4 семестр			
2 Физические основы твердотельной электроники	Параметры полупроводниковых материалов	2	ОПК-1, ПК-6
	Собственные и примесные полупроводники. Фундаментальная система уравнений твердотельной электроники. Закон действующих масс	2	ОПК-1, ПК-6
	Положение уровня Ферми в полупроводниках	2	ОПК-1, ПК-6
	Итого	6	
3 Контакт металл полупроводник. Диод Шоттки	Диод Шоттки. Эквивалентная схема диода Шоттки	2	ОПК-1, ПК-6
	Итого	2	
4 Электронно-дырочный переход	Электронно-дырочный переход (ЭДП). Контактная разность потенциалов.	2	ОПК-1, ПК-6
	Электронно-дырочный переход: ширина области пространственного заряда, барьерная емкость	2	ОПК-1, ПК-6
	Токи в электронно-дырочном переходе	2	ОПК-1, ПК-6
	Эквивалентная схема электронно-дырочного перехода	2	ОПК-1, ПК-6
	Итого	8	
5 Полупроводниковые диоды	Параметры полупроводниковых диодов	2	ОПК-1, ПК-6
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

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				

Согласована на портале № 84809

1 Введение, цели и задачи дисциплины	Подготовка к зачету	1	ОПК-1, ПК-6	Зачёт
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-6	Тестирование
	Итого	2		
2 Физические основы твердотельной электроники	Подготовка к зачету	2	ОПК-1, ПК-6	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ОПК-1, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ОПК-1, ПК-6	Контрольная работа
	Подготовка к письменному опросу	2	ОПК-1, ПК-6	Письменный опрос
	Итого	8		
3 Контакт металл полупроводник. Диод Шоттки	Подготовка к зачету	2	ПК-6	Зачёт
	Подготовка к тестированию	1	ПК-6	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-6	Контрольная работа
	Подготовка к письменному опросу	2	ПК-6	Письменный опрос
	Выполнение индивидуального задания	2	ПК-6	Индивидуальное задание
	Итого	9		
4 Электронно-дырочный переход	Подготовка к зачету	2	ОПК-1, ПК-6	Зачёт
	Подготовка к тестированию	1	ОПК-1, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ОПК-1, ПК-6	Контрольная работа
	Подготовка к письменному опросу	2	ОПК-1, ПК-6	Письменный опрос
	Выполнение индивидуального задания	2	ОПК-1, ПК-6	Индивидуальное задание
	Итого	9		
5 Полупроводниковые диоды	Подготовка к зачету	2	ОПК-1, ПК-6	Зачёт
	Подготовка к тестированию	2	ОПК-1, ПК-6	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ОПК-1, ПК-6	Контрольная работа
	Подготовка к письменному опросу	2	ОПК-1, ПК-6	Письменный опрос
	Итого	8		
Итого за семестр		36		
Итого		36		

Согласована на портале № 84809

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.	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	Зачёт, Индивидуальное задание, Контрольная работа, Письменный опрос, Тестирование
ПК-6	+	+	+	Зачёт, Индивидуальное задание, Контрольная работа, Письменный опрос, 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

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				
Зачёт	0	0	30	30
Индивидуальное задание	0	15	15	30
Контрольная работа	0	10	10	20
Письменный опрос	4	3	1	8
Тестирование	4	4	4	12
Итого максимум за период	8	32	60	100
Нарастающим итогом	8	40	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)

Согласована на портале № 84809

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. Смирнов, Ю. А. Физические основы электроники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 560 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/211208.

7.2. Дополнительная литература

1. 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.).
2. Твердотельная электроника : Учебное пособие для вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 406[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 88 экз.).
3. 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://reader.lanbook.com/book/210338#1.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Троян П.Е. Твердотельная электроника. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2007. – 76 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 47 экз.).

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

Согласована на портале № 84809

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 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:

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

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

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами

Согласована на портале № 84809

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 Введение, цели и задачи дисциплины	ОПК-1, ПК-6	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Физические основы твердотельной электроники	ОПК-1, ПК-6	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Письменный опрос	Примерный перечень вопросов для письменного опроса
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
3 Контакт металл полупроводник. Диод Шоттки	ОПК-1, ПК-6	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Письменный опрос	Примерный перечень вопросов для письменного опроса
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

Согласована на портале № 84809

4 Электронно-дырочный переход	ОПК-1, ПК-6	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Письменный опрос	Примерный перечень вопросов для письменного опроса
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
5 Полупроводниковые диоды	ОПК-1, ПК-6	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Письменный опрос	Примерный перечень вопросов для письменного опроса
		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

Согласована на портале № 84809

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 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

Согласована на портале № 84809

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;
    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;

Согласована на портале № 84809

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.

9.1.2. Перечень вопросов для зачета

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.
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

Согласована на портале № 84809

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. Вольтамперная характеристика идеального ЭДП. Диоды с "толстой" и "тонкой" базами. Вольтамперная характеристика реального ЭДП.
26. Явления в ЭДП при высоком уровне инжекции.
27. Диффузионная и барьерная емкости ЭДП.
28. Эквивалентная схема ЭДП. Параметры эквивалентной схемы.
29. Переходные процессы в ЭДП.
30. Пробой электронно-дырочного перехода.
31. Зарядоуправляемая модель ЭДП.
32. Гетеропереходы.
33. Классификация и маркировка диодов.
34. Выпрямительные диоды. Выпрямительные столбы и блоки.
35. Универсальные и импульсные диоды.
36. СВЧ-диоды.
37. Варикапы.
38. Стабилитроны.
39. Лавинно-пролетные диоды.
40. Туннельные и обращенные диоды.
41. Фотодиоды.
42. Светодиоды.

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.

Согласована на портале № 84809

Под действием прямого смещения через несимметричный ($n_n \gg p_p$) резкий $p-n$ переход течет ток $I = 10^{-4}\ A$. Определить диффузионную емкость $p-n$ перехода при температуре $T = 300\ K$, 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 $T = 300\ K$, отношение подвижностей $b = \mu_n/\mu_p = 2$, собственная концентрация $n_i = 2{,}5 \cdot 10^{13}\ см^{-3}$.

9.1.4. Примерный перечень вопросов для письменного опроса

1. Запишите физический смысл уравнения Пуассона.
2. Объясните графически принцип выпрямления тока на контакте металл-полупроводник по энергетическим диаграммам.
3. Нарисуйте эквивалентную схему диода Шоттки.
4. Чем отличается барьерная емкость ЭДП от диффузионной?
5. Перечислите параметры варикапа.

9.1.5. Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий

1.

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.

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.

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.

Согласована на портале № 84809

Сплавной диод изготовлен из дырочного германия. Диод имеет напряжение пробоя $U_{обр.доп} = 75\ В$. Площадь p-n перехода $S = 10^{-4}\ см^2$. Определить:

1. параметры материала (концентрации основных и неосновных носителей зарядов, подвижности и коэффициенты диффузии);
2. удельное сопротивление базы диода;
3. рассчитать барьерную емкость p-n перехода при $U = 2 \cdot U_{обр.доп}$.

4.

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.

5.

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.

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

Согласована на портале № 84809

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.

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. Для допуска к экзамену должны быть выполнены и защищены все лабораторные работы предусмотренные настоящей программой. Также должны быть выполнены все контрольные работы с положительной оценкой.

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)

Согласована на портале № 84809

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 процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 84809

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ИРЭТ
протокол № 8 от «20» 10 2025 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	Ю.В. Сахаров	Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a
Заведующий обеспечивающей каф. ИРЭТ	А.М. Заболоцкий	Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c-b856-20e4ba4f0e52
Начальник учебного управления	Г.А. Цой	Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ФЭ	И.А. Чистоедова	Согласовано, 2114f42c-7cf2-4826-9f35-9a75ea4961b2
Заведующий кафедрой, каф. СВЧиКР	А.М. Заболоцкий	Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c-b856-20e4ba4f0e52

РАЗРАБОТАНО:

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

Согласована на портале № 84809