**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

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**
Направленность (профиль) / специализация: **Проектирование электронных средств космических аппаратов**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры (КУДР)**
Курс: **2**
Семестр: **3**
Учебный план набора 2025 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 3 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Лекционные занятия | 26 | 26 | часов |
| Практические занятия | 26 | 26 | часов |
| Лабораторные занятия | 20 | 20 | часов |
| Самостоятельная работа | 36 | 36 | часов |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию) | 144 | 144 | часов |
| | 4 | 4 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестации | Семестр |
|---|---|
| Экзамен | 3 |

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 № 83396

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Целью преподавания дисциплины является изучение естественнонаучных проблем в области физических основ микро- и наноэлектроники; физики твердого тела; функционирования компонентов электронных средств и формирование способности применять физико-математический аппарат для решения этих проблем.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Получение необходимых знаний по физическим и теоретическим основам полупроводниковой электроники.
2. Получение необходимых знаний по методам расчета основных параметров и характеристик полупроводников и 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** | | |

Согласована на портале № 83396

| | | |
|---|---|---|
| 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 основы физики твердого тела и физики полупроводников (основы физических явлений в полупроводниках, металлах, гетероструктурах и разделов математики, необходимых для их описания). |
| | 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 анализировать проблемы, процессы и явления в области физики полупроводников, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области |
| | ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач | Владеет практическими навыками решения инженерных задач в области физики полупроводников и полупроводниковой техники |
| ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных | ОПК-2.1. Знает основные принципы проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных | Знает основные принципы проведения экспериментальных исследований в области физических явлений в полупроводниках, металлах и гетероструктурах и основные приемы обработки полученных данных. |
| | ОПК-2.2. Умеет выбирать эффективную методику экспериментальных исследований | Умеет применять эффективную методику, методы и средства измерения и расчета параметров полупроводников и приборов на их основе. |
| | ОПК-2.3. Владеет навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и представления полученных данных | Владеет методами и навыками проведения экспериментальных исследований характеристик и расчета параметров полупроводников и простых приборов на их основе. |
| **Профессиональные компетенции** | | |
| - | - | - |

## 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 |
|---|---|---|
| | | 3 семестр |

Согласована на портале № 83396

| | | |
|---|---|---|
| **Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 72 | 72 |
| Лекционные занятия | 26 | 26 |
| Практические занятия | 26 | 26 |
| Лабораторные занятия | 20 | 20 |
| **Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 36 | 36 |
| Подготовка к тестированию | 14 | 14 |
| Выполнение практического задания | 8 | 8 |
| Подготовка к защите отчета по лабораторной работе | 6 | 6 |
| Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 8 | 8 |
| **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 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | | | | |
| 1 Вводная часть | 2 | - | - | 1 | 3 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 2 Элементы физики твердого тела | 2 | 4 | - | 4 | 10 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 3 Основы физики полупроводников | 4 | 6 | 4 | 7 | 21 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 4 Электропроводность твердых тел | 2 | 4 | 8 | 7 | 21 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 5 Контактные явления | 4 | 6 | - | 4 | 14 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | 4 | - | 4 | 6 | 14 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | 4 | 4 | - | 2 | 10 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 2 | 2 | 4 | 4 | 12 | ОПК-1, ОПК-2 |
| 9 Физические основы наноэлектроники | 2 | - | - | 1 | 3 | ОПК-1, ОПК-2 |
| Итого за семестр | 26 | 26 | 20 | 36 | 108 | |
| Итого | 26 | 26 | 20 | 36 | 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 |
|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | |

Согласована на портале № 83396

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 Вводная часть | Цели и задачи дисциплины. История развития твердотельной электроники. Роль советских и зарубежных ученых в развитии микроэлектроники. Физические ограничения быстродействия и миниатюризации | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 2 Элементы физики твердого тела | Элементы квантовой механики и зонной теории твердых тел | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Основы физики полупроводников | Собственная и примесная проводимость полупро-водников. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми. Зависимость концентра-ции носителей заряда от температуры. Уравнение баланса носителей заряда в полупроводнике. Тем-пературная зависимость равновесной концентра-ции носителей заряда. Закон действующих масс. Компенсированные полупроводники. Неравновес-ные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинация, ее механизмы. Скорость ре-комбинации и время жизни носителей заряда. Из-лучательная рекомбинация. Основные полупро-водники, применяемые в микроэлектронике , их свойства. Диффузионная и дрейфовая составляю-щие тока. Коэффициент диффузии носителей заря-да. Соотношение Эйнштейна. Монополярная и би-полярная диффузия носителей заряда в полупро-водниках. Уравнение непрерывности. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 83396

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 Электропроводность твердых тел | Влияние электрического поля на функцию распределения носителей заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Уравнения Ланжевена. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электрон-фононное рассеяние. Рассеяние на дефектах кристаллической решетки. Основные механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников. Эффекты сильного поля. Типы вольтамперных характеристик в полупроводниках. ВАХ S и N типа. Эффект Ганна. Понятие о доменах. СВЧ-генераторы на эффекте Ганна. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 83396

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 Контактные явления | Работа выхода электронов из металлов и полупро-<br>водников. Термоэлектронная эмиссия. Контакт<br>двух металлов. Контактная разность потенциалов.<br>Контакт металл-полупроводник в равновесном и<br>неравновесном состояниях. Приконтактные слои<br>обеднения, обогащения, инверсии. Эффект Шотт-<br>ки. Толщина обедненного слоя. Распределение по-<br>тенциала Диод Шоттки. ВАХ диода Шоттки. P-n<br>переход, его энергетические диаграммы в равно-<br>весном и неравновесном состоянии. Обедненныйслой, электрические<br>поля в обедненном слое. Рез-<br>кий и плавный p-n переходы. Толщина обедненно-<br>го слоя. Контактная разность потенциалов. Обрат-<br>ный ток p-n перехода, его составляющие. ВАХ p-n<br>перехода. Зарядная и диффузионная емкости p-n<br>перехода. Пробой p-n перехода и его механизмы<br>(лавинный, туннельный, тепловой). | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | Полупроводниковые приборы на основе p-n пере-<br>хода. Полупроводниковые диоды. Энергетические<br>диаграммы, принцип действия, основные характе-<br>ристики и параметры. Биполярные транзисторы.<br>Принцип действия, схемы включения, энергетиче-<br>ские зонные диаграммы, вольтамперные характе-<br>ристики, основные параметры. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 83396

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | Поверхностные состояния в полупроводнике. Поверхностная рекомбинация. Приповерхностный слой объемного заряда. Поверхностная проводимость. Эффект поля. МДП-структуры. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом. ВАХ этих приборов. МДП (МОП)-транзисторы. Идеальная МДП-структура. МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. ВАХ МДП-транзистора. Режимы обеднения, обогащения, инверсии. Роль поверхностных состояний. Разновидности МДП-транзисторов. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Фотопроводимость при импульсном освещении. Фотоэлектрические эффекты. Устройство, принцип действия, основные характеристики фоторезистора, фотодиода, фотоэлемента, фототранзистора. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 9 Физические основы наноэлектроники | Квантовые размерные структуры. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Наноструктуры и элементы наноэлектроники. Проблемы одноэлектроники. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 26 | |
| Итого | | 26 | |

### 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 |
|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | |
| 2 Элементы физики твердого тела | Элементы зонной теории твердых тел | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 83396

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 Основы физики полупроводников | Статистика электронов и дырок в полупроводниках. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Генерация и рекомбинация носителей заряда. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводниках. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Электропроводность твердых тел. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 5 Контактные явления | Контакт металл-полупроводник. | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Физические явления в p-n переходе | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | Поверхностные явления в полупроводниках | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Фотоэлектрические явления в полупроводниках | 2 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 26 | |
| Итого | | 26 | |

### 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 |
|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | |
| 3 Основы физики полупроводников | Измерение подвижности носителей заряда. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлектронике. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Исследование температурной зависимости электропроводности германия. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 8 | |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | Исследование вольтамперных и вольтфарадных характеристик полупроводникового диода. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Изучение фотопроводимости полупроводников и определение времени жизни неравновесных носителей заряда. | 4 | ОПК-1, ОПК-2 |
| | Итого | 4 | |

Согласована на портале № 83396

| | | |
|---|---|---|
| Итого за семестр | 20 | |
| Итого | 20 | |

### 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 |
|---|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | | |
| 1 Вводная часть | Подготовка к тестированию | 1 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 1 | | |
| 2 Элементы физики твердого тела | Подготовка к тестированию | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Выполнение практического задания | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Практическое задание |
| | Итого | 4 | | |
| 3 Основы физики полупроводников | Подготовка к тестированию | 1 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Выполнение практического задания | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Практическое задание |
| | Подготовка к защите отчета по лабораторной работе | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Лабораторная работа |
| | Итого | 7 | | |
| 4 Электропроводность твердых тел | Подготовка к тестированию | 1 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Выполнение практического задания | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Практическое задание |
| | Подготовка к защите отчета по лабораторной работе | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Лабораторная работа |
| | Итого | 7 | | |

Согласована на портале № 83396

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 Контактные явления | Подготовка к тестированию | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Выполнение практического задания | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Практическое задание |
| | Итого | 4 | | |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | Подготовка к тестированию | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Подготовка к защите отчета по лабораторной работе | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Лабораторная работа |
| | Итого | 6 | | |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | Подготовка к тестированию | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 2 | | |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | Подготовка к тестированию | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Подготовка к защите отчета по лабораторной работе | 0 | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 2 | ОПК-1, ОПК-2 | Лабораторная работа |
| | Итого | 4 | | |
| 9 Физические основы наноэлектроники | Подготовка к тестированию | 1 | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 1 | | |
| Итого за семестр | | 36 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 72 | | |

### 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. | |
| ОПК-1 | + | + | + | + | Защита отчета по лабораторной работе, Лабораторная работа, Практическое задание, Тестирование, Экзамен |

Согласована на портале № 83396

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ОПК-2 | + | + | + | + | Защита отчета по лабораторной работе, Лабораторная работа, Практическое задание, 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 |
|---|---|---|---|---|
| **3 семестр** | | | | |
| Защита отчета по лабораторной работе | 0 | 10 | 10 | 20 |
| Лабораторная работа | 0 | 5 | 5 | 10 |
| Практическое задание | 5 | 10 | 10 | 25 |
| Тестирование | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Итого максимум за период | 10 | 30 | 30 | 100 |
| Нарастающим итогом | 10 | 40 | 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) |
| 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

Согласована на портале № 83396

1. Щука, А. А. Наноэлектроника : учебник для вузов / А. А. Щука ; под общей редакцией А. С. Сигова. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 297 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://urait.ru/bcode/490154.

2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 406 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 88 экз.).

3. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. "Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность": Учебное пособие для вузов – М. ВШ, 1986. - 464 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 54 экз.).

4. Физические основы микроэлектроники: Учебное пособие / Н. С. Несмелов, М. М. Славникова, А. А. Широков. - Томск : ТУСУР, 2007. -276 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 170 экз.).

### 7.2. Дополнительная литература

1. Драгунов ВП., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники:учебное пособие для вузов – М.: Физматкнига, 2006. – 494 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.).

2. Боргардт Н.И., Гаврилов С.А.,Герасименко Н.Н. и др. Нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005. -446 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.).

3. Аплеснин, С. С. Элементы квантовой механики в физике твердого тела : учебное пособие / С. С. Аплеснин. — 2-е изд., доп. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2020. — 144 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/165874.

### 7.3. Учебно-методические пособия

#### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы микро- и наноэлектроники: Сборник задач и методические указания по проведению практических занятий / М. М. Славникова, Н. С. Несмелов - 2015. 32 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5641.

2. Исследование структуры металл - диэлектрик - полупроводник: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова, М. М. Славникова, М. Н. Романовский - 2018. 10 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7765.

3. Изучение фотопроводимости полупроводников и определение времени жизни неравновесных носителей заряда: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 10 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7769.

4. Измерение подвижности носителей заряда: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 7 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7760.

5. Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 15 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7835.

6. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда методом модуляции проводимости: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 7 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7761.

7. Исследование температурной зависимости электропроводности германия: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 10 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7808.

8. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника методом измерения обратных токов электроннодырочного перехода: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 9 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7834.

9. Исследование вольтамперных и вольтфарадных характеристик полупроводникового диода: Руководство к лабораторной работе / М. М. Славникова - 2018. 13 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7759.

10. Вопросы для самоконтроля: По дисциплине «Микроэлектроника» / Н. С. Легостаев - 2014. 16 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/4273.

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

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся

Согласована на портале № 83396

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

Измерительная лаборатория: учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 316 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Векторный анализатор цепей ОБЗОР-103;
- Векторный импульсный анализатор цепей Р4-И-01;
- Лабораторный стенд "Функциональные узлы микроволновой техники";
- Вольтметр В6-9;
- Генератор сигналов ГСС-05 - 3 шт.;
- Генератор-частотомер FG-7020;
- Измеритель Л2-22 - 2 шт.;
- Источник питания Б5-43;
- Линейный источник питания HY3003 - 2 шт.;
- Мультиметр APPA 207;
- Осциллограф RlGOL DS 1042 C;
- Осциллограф с функцией генератора сигналов Keysight DSOX1102G - 2 шт.;
- Цифровой осциллограф DSO-3202A;
- Цифровой осциллограф GDS-806S - 4 шт.;
- Микроскоп Альтами CMO745T;
- Проектор LG RD-DX130;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Google Chrome;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- Microsoft Windows;

Согласована на портале № 83396

- OpenOffice;

### 8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Измерительная лаборатория: учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 316 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Векторный анализатор цепей ОБЗОР-103;
- Векторный импульсный анализатор цепей Р4-И-01;
- Лабораторный стенд "Функциональные узлы микроволновой техники";
- Вольтметр В6-9;
- Генератор сигналов ГСС-05 - 3 шт.;
- Генератор-частотомер FG-7020;
- Измеритель Л2-22 - 2 шт.;
- Источник питания Б5-43;
- Линейный источник питания HY3003 - 2 шт.;
- Мультиметр APPA 207;
- Осциллограф RlGOL DS 1042 C;
- Осциллограф с функцией генератора сигналов Keysight DSOX1102G - 2 шт.;
- Цифровой осциллограф DSO-3202A;
- Цифровой осциллограф GDS-806S - 4 шт.;
- Микроскоп Альтами CMO745T;
- Проектор LG RD-DX130;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

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

### 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:

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

### 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными

Согласована на портале № 83396

**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 Вводная часть | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 2 Элементы физики твердого тела | ОПК-1, ОПК-2 | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 3 Основы физики полупроводников | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе | Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ |
| | | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

Согласована на портале № 83396

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 Электропроводность твердых тел | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе | Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ |
| | | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 5 Контактные явления | ОПК-1, ОПК-2 | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 6 Полупроводниковые диоды и биполярные транзисторы | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе | Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ |
| | | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 7 Поверхностные явления в полупроводниках. Полевые транзисторы | ОПК-1, ОПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 8 Фотоэлектрические явления в полупроводниках | ОПК-1, ОПК-2 | Защита отчета по лабораторной работе | Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ |
| | | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 9 Физические основы наноэлектроники | ОПК-1, ОПК-2 | 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

Согласована на портале № 83396

| 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 |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале<br>или<br>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

Согласована на портале № 83396

1. Найдите правильные определения собственного полупроводника.
   1) это полупроводник с идеальной кристаллической структурой;
   2) это полупроводник, в котором есть специально введенные примеси;
   3) это полупроводник, в котором концентрации свободных электронов и дырок всегда равны;
   4) это полупроводник, в котором нет каких-либо дефектов;
   5) это полупроводник, в котором концентрация собственных носителей заряда преобладает.
2. При какой температуре донорный и акцепторный полупроводники приобретают свойства собственного полупроводника?
   1) при любых температурах примесные полупроводники сохраняют свои свойства, так как примесные атомы остаются в объемах кристаллов;
   2) при T = Ts, когда уровень Ферми пересекает донорный или акцепторный уровень;
   3) при T больше или равной Ti, когда уровень Ферми должен оказаться в середине запрещенной зоны;
   4) при температурах в области Ts < T < Ti , когда все примесные уровни ионизированы.
3. Укажите, где правильно указаны основные и неосновные носители заряда в полупроводнике?
   1) в донорном полупроводнике основные носители заряда — дырки в валентной зоне, образующиеся при переходе из нее электронов в зону проводимости;
   2) в донорном полупроводнике концентрация электронов в зоне проводимости за счет их поступления с донорного уровня при 0 < T < Ti выше, чем концентрация дырок в валентной зоне. Поэтому электроны в донорном полупроводнике называются основными носителями заряда, а дырки — неосновными;
   3) в акцепторном полупроводнике основные носители заряда — это электроны, перешедшие при T > 0 в валентную зону с акцепторного уровня, а неосновные носители — дырки, оставшиеся на акцепторном уровне;
   4) в собственном полупроводнике основными носителями заряда являются дырки в валентной зоне, образующиеся при переходе из нее электронов в зону проводимости.
4. Какие параметры полупроводников можно определить из температурной зависимости их электропроводности?
   1) подвижность носителей заряда;
   2) концентрацию дырок и электронов;
   3) удельное сопротивление при заданной температуре;
   4) ширину запрещенной зоны из зависимости lnσ(1/T) в области собственной проводимости.
5. Как подвижность носителей заряда в полупроводнике зависит от его температуры?
   1) в области низких температур, когда концентрация фононов мала, а примесные атомы уже ионизированы, электроны и дырки рассеиваются на примесных ионах и подвижность носителей заряда возрастает при увеличении температуры. При более высокой температуре, когда концентрация фононов возрастает подвижность носителей уменьшается.
   2)при малой концентрации фононов в области низких температур подвижность остается постоянной при увеличении температуры;
   3)в реальных полупроводниках в области низких температур зависимость μ(T) объясняется рассеянием носителей заряда на ионах примесей и увеличивается с увеличением температуры;
   4)в области высоких температур основное влияние на подвижность носителей заряда оказывает рассеяние на фононах. Температурные зависимости средней длины свободного пробега и средней скорости теплового движения носителей заряда являются причиной уменьшения их подвижности с ростом температуры.
6. Каков физический смысл понятия «диффузионная длина»?
   1) расстояние, проходимое носителем заряда за время жизни;
   2) расстояние, на котором контактное электрическое поле уменьшается в 2,71 раза;
   3) расстояние, на котором объемный заряд неравновесных носителей компенсируется объемным зарядом нескомпенсированных примесных атомов;
   4) длина области объемного заряда.

Согласована на портале № 83396

7. Какие контакты металл-полупроводник называются запирающими?
   1) контакты, в которых отсутствует заметный ток при подаче внешнего напряжения любой полярности;
   2) контакты, в которых сопротивление слоя объемного заряда при $V < 0$ оказывается значительно больше сопротивления остальной части полупроводника;
   3) контакты, у которых сопротивление области объемного заряда при $V > 0$ значительно меньше сопротивления остальной части полупроводника;
   4) контакт, обогащенный основными носителями заряда, перешедшими из металла в приповерхностный слой полупроводника.
8. От чего зависит обратный ток p-n-перехода в области насыщения?
   1) от величины приложенного внешнего напряжения;
   2) от напряженности внутреннего электрического поля p-n перехода;
   3) от концентрации неосновных носителей заряда;
   4) с ростом температуры обратный ток уменьшается.
9. Укажите причины, объясняющие малую толщину базы для биполярных транзисторов:
   1) при уменьшении толщины базы снижается количество носителей заряда, рекомбинирующих в ней при диффузии к коллектору;
   2) толщина базы определяется шириной областей эмиттерного и коллекторного p-n переходов и поэтому зависит только от концентраций в них основных носителей заряда;
   3) снижение в базе концентрации основных носителей заряда уменьшает рекомбинационные потери носителей, инжектированных эмиттерным p-n переходом, что повышает коллекторный ток;
   4) малая концентрация основных носителей заряда в базе соответствует ее большому электрическому сопротивлению, что обусловливает меньшее электрическое взаимодействие эмиттера и коллектора.
10. Почему коэффициент передачи тока эмиттера транзистора в схеме с общей базой меньше единицы?
   1) вследствие инжекции неосновных носителей из коллектора в базу;
   2) из-за большого сопротивления базы;
   3) вследствие рекомбинации в базе части неосновных носителей, инжектированных эмиттером, и поскольку эффективность эмиттера меньше единицы;
   4) вследствие расширения коллекторного p-n перехода при подаче запирающего напряжения.
11. Элемент какой группы следует ввести в полупроводник, относящийся к IV группе, чтобы получить в нем проводимость n-типа?
   1) V; 2) II; 3) III;4) VI.
12. Светодиоды работают на принципе:
   1) инжекционной люминесценции;
   2) инжекционной электрической люминесценции;
   3) инжекционной электромагнитной люминесценции;
   4) инжекционной магнитной люминесценции.
13. В каких режимах могут работать полевые транзисторы?
   1) Активном, отсечки и насыщения;
   2) пассивном и активном;
   3) дырочном и пробойном;
   4) лавинном и тепловом.
14. Зависимость тока коллектора от напряжения при постоянном токе базы – это:
   1) выходная вольтамперная характеристика;
   2) входная характеристика:
   3) вольтамперная характеристика базы;
   4) амплитудно-частотная характеристика.
15. Прибор, имеющий 2 взаимодействующих p-n перехода, называется:
   1) биполярный транзистор;
   2) стабилитрон;
   3) стабистор;
   4) варистор.
16. Полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком

Согласована на портале № 83396

основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем - это:
1) биполярный транзистор;
2) полевой транзистор;
3) стабилитрон;
4) тиристор.

17. Что является преимуществом биполярных транзисторов по сравнению с электронной лампой?
1) Отсутствие накаленного катода;
2) наличие накаленного катода;
3) можно использовать в полярных условиях ;
4) чувствительность к повышению температуры.
18. Чем ограничены значения коллекторного напряжения?
1) Ширина коллекторного перехода становится слишком большой;
2) коэффициент переноса становится слишком большим;
3) пробоем коллекторного перехода;
4) коэффициент обратной связи достигает предельной величины.
19. Что называется коллектором биполярного транзистора?
1) Область транзистора со средней концентрацией примеси;
2) область транзистора со стороны закрытого p-n перехода;
3) область транзистора, назначением которой является инжекция неосновных носителей в базу;
4) область транзистора, назначением которой является экстракция из базы неосновных носителей.
20. Что называется эмиттером биполярного транзистора?
1) Область транзистора с большой концентрацией примеси;
2) область транзистора, назначением которой является инжекция неосновных носителей в базу;
3) область транзистора со стороны закрытого p-n перехода;
4) область транзистора, назначением которой является экстракция из базы неосновных носителей.

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Как влияет ширина запрещенной зоны на вид ВАХ p-n перехода.
2. Механизм образования области пространственного заряда электронно-дырочного перехода.
3. Представьте и поясните зонную диаграмму компенсированного дырочного полупроводника.
4. Объяснить зависимость электропроводности дырочного полупроводника от температуры.
5. Охарактеризовать тепловой пробой p-n перехода.
6. Изобразить и пояснить зонную диаграмму вырожденного полупроводника.
7. Основные и неосновные носители заряда. Каким соотношением связаны их равновесные концентрации.
8. Примесные уровни в полупроводнике.
9. Природа обратного тока в p-n переходе.
10. Вырожденные и невырожденные состояния.
11. Понятие о фононах.
12. Поверхностные состояния.
13. Какова природа тока насыщения p-n перехода.
14. Лавинный пробой p-n перехода.
15. Чем обусловлена электропроводность собственного полупроводника?
16. С какой целью в полупроводник вводят примеси?
17. Как влияют на электропроводность полупроводника донорные и акцепторные примеси?
18. Объясните, что такое дырки? Каково их движение в полупроводнике при отсутствии и под действием разности потенциалов?

Согласована на портале № 83396

19. Объясните отличие собственного и примесного полупроводников?
20. Какие носители заряда являются основными и неосновными в полупроводниках n- и p-типов? Почему? Каким соотношением связаны их равновесные концентрации?
21. Объясните причины возникновения диффузионного и дрейфового токов в полупроводнике.
22. Что такое p-n-переход? Как он формируется?
23. Объясните с физической точки зрения вентильные свойства p-n-перехода.
24. Изобразите и поясните зонные диаграммы p-n перехода в равновесном состоянии и при приложении прямого и обратного напряжения.
25. Покажите отличия между вольтамперными характеристиками (ВАХ) кремниевого и германиевого диодов.
26. Приведите типовые значения для прямого и обратного сопротивления этих диодов. Как определить данные параметры по ВАХ?
27. Перечислите параметры, определяемые по ВАХ реального диода. Как они определяются?
28. Наногетероструктуры, функциональные возможности устройств с квантовыми ямами, квантовыми проволоками, точками.
29. Коэффициент передачи по току биполярного транзистора.
30. Статические характеристики полевого транзистора с изолированным затвором.

### 9.1.3. Темы практических заданий

1. Какова вероятность найти электрон на нижнем уровне зоны проводимости в собственном германии, если температура образца равна: а) 30 К.
2. Какова вероятность найти электрон на нижнем уровне зоны проводимости в собственном германии, если температура образца равна: б) 300 К.
3. Определить концентрацию неосновных носителей заряда в германии при T=300К, если Na=10^18 м-3.
4. Найти положение уровня Ферми в собственном полупроводнике относительно середины запрещенной зоны при комнатной температуре (T = 300 К), если эффективная масса электрона в 2 раза больше эффективной массы дырки.
5. Уровень Ферми полупроводника находится на 0,3 эВ ниже дна зоны проводимости. Какова вероятность того, что при комнатной температуре энергетические уровни, расположенные на расстоянии 3kT выше дна зоны проводимости, заняты электронами?
6. Уровень Ферми полупроводника находится на 0,3 эВ ниже дна зоны проводимости. Какова вероятность того, что уровень у потолка валентной зоны содержит дырки, если ширина запрещенной зоны 1,1 эВ?
7. В кристалле кремния p-типа на каждые 10^8 атомов кремния приходится один атом акцепторной примеси. Найти положение уровня Ферми при комнатной температуре (T = 300 К) относительно валентной зоны.
8. Удельное сопротивление собственного германия при T = 300 К ρ = 0,43 Ом□м. Подвижности электронов и дырок в германии равны соответственно 0,39 и 0,19 м^2/(В□с). Определите собственную концентрацию электронов и дырок.
9. Определить концентрацию электронов и дырок в образце германия при T = 300 К, который имеет концентрацию донорных атомов Nd = 2□10^14 см-3 и концентрацию акцепторных атомов Na = 3□10^14 см-3.
10. Определить при T = 300 К удельное сопротивление собственного образца кремния. Подвижности электронов и дырок равны соответственно: 0,12 и 0,05 м^2/(В*с), концентрация собственных носителей заряда ni = 1,5□10^16 м-3.
11. Определить удельные сопротивления кремния n-типа проводимости при T = 300 К, если концентрации доноров Nd равны 10^14 и 10^18 см-3, концентрация собственных носителей заряда ni = 1,5□10^16 м-3.
12. Определить концентрацию неосновных носителей заряда, их подвижность в образце германиевого полупроводника p-типа при T = 300 К, если концентрация акцепторной примеси Na = 10^16 см-3, а коэффициент диффузии электронов Dn = 93 см^2/с.
13. Определить удельную проводимость образца кремния при T = 300 К, если концентрация акцепторов в полупроводнике Na = 2,3□10^13 см-3 и концентрация доноров Nd = 2,2□10^13 см-3.

Согласована на портале № 83396

14. Определить среднюю скорость дрейфа электронов и дырок в германии при T = 300 К, если к образцу приложено внешнее электрическое поле с напряженностью E = 10, 100 и 1000 В/см.
15. Определить значение дрейфового тока, протекающего через кремниевый стержень длиной 5 см и с поперечным сечением 0,5×0,5 см^2, к концам которого приложена разность потенциалов 6 В. Кремний n-типа проводимости. Концентрация электронов проводимости в нем равна 10^22 м^-3, концентрация собственных носителей равна 2,05□10^16 м^-3. Температура T = 300 К. Коэффициенты диффузии электронов и дырок при этой температуре соответственно равны 0,31□10^-2 и 0,065□10^-2 м^2/с.
16. Подвижности электронов μn и дырок μp в монокристалле кремния при комнатной температуре (T = 300 К) соответственно равны 1400 и 500 см^2/(В□с). Определить коэффициенты диффузии электронов и дырок при этой температуре.
17. В образце германия n-типа концентрация донорной примеси при комнатной температуре (T = 300 К) составляет Nd = 10^17см^-3. Определите значение pn и диффузионную длину электронов Ln , если время их жизни τn = 50 мкс.
18. Определите время жизни τn и подвижность электронов μn при T = 300 К, если диффузионная длина электронов в германии Ln = 0,15 см, а коэффициент диффузии Dn = 93 см^2/с.
19. Определите подвижность электронов в кремнии при температуре T = 300 К, если коэффициент диффузии электронов Dn = 31 см^2/с.
20. Вычислить диффузионные длины для электронов в германии p-типа и дырок в германии n-типа, если время жизни неосновных носителей заряда τn = τp=10^-4 с, коэффициенты диффузии для германия p-типа Dn = 99□10-4 м2/с и для германия n-типа Dp = 47□10-4 м^2/с.
21. Определить диффузионную длину Ln и коэффициент диффузии электронов Dn в германии при комнатной температуре, если время жизни электронов τn = 500 мкс, а подвижность электронов μn = 3600 см^2/(В□с).
22. Образец германия содержит в качестве примесей 10^20 донорных атомов в 1 м^3 и 7□10^19 акцепторных атомов в 1 м^3. При комнатной температуре образца удельное сопротивление собственного германия равно 0,6 Ом□м. Определить плотность полного дрейфового тока, если к образцу приложено электрическое поле напряженностью 200 В/м. Подвижность электронов μn = 0,38 м^2/(В□с), подвижность дырок μp = 0,18 м^2/(В□с).
23. Определить значение дрейфового тока, протекающего через кремниевый стержень длиной 5 см и с поперечным сечением 0,5×0,5 см^2, к концам которого приложена разность потенциалов 6 В. Кремний n-типа проводимости. Концентрация электронов проводимости в нем равна 10^22 м-3, концентрация собственных носителей равна 2,05□10^16 м^-3. Температура T = 300 К. Коэффициенты диффузии электронов и дырок при этой температуре соответственно равны 0,31□10^-2 и 0,065□10^-2 м^2/с.
24. Дрейфовый ток плотностью 10 мА/см^2 течет через кристалл кремния p-типа с удельным сопротивлением 5 Ом□см. Найти среднюю дрейфовую скорость дырок и электронов.
25. Для контакта металл-полупроводник на основе кремния n-типа проводимости с концентрацией донорной примеси
    N = 5□10^17см^-3 рассчитать контактную разность потенциалов, если в качестве металла использован: а) Ta (□M = 4,5 эВ); б) Pt (□M = 5,3 эВ) при T = 300 К.
26. Определить контактную разность потенциалов □k кремниевого p − n-перехода при T = 300 К, если Na = 2□10^13 см-3и Nd = 5□10^12 см^-3.
27. Резкий кремниевый p − n-переход сформирован из материала p-типа с удельным сопротивлением ρp = 1,3□10^-3 Ом□м и материала n-типа с удельным сопротивлением ρn = 4,6□10^-3 Ом□м при T = 300 К. Время жизни неосновных носителей заряда в материале p- и n-типов составляет 100 и 150 мкс соответственно, площадь p − n-перехода S = 1 мм^2. Вычислить обратный ток насыщения, предположив, что протяженность p- и n-областей много больше диффузионной длины носителей заряда, если μp = 4,8□10^-2 м^2/(В□с), μп = 0,135 м^2/(В□с), ni = 6,5□10^16 м-3.
28. Чему равен ток коллектора в биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой, если Iэ = 10 мА, Uкб = 10 В, Iк0 = 10 мкА, а эффективность эмиттера равна 0,99.
29. При каком напряжении Uкб ток коллектора биполярного транзистора, включенного по

Согласована на портале № 83396

схеме с общей базой, станет равным нулю, если при Uкб=0 ток коллектора Iк = 1мА, а Iк0=10 мкА.

30. Вычислите избыточную концентрацию электронов через 2 миллисекунды после выключения источника внешнего возбуждения, если ее стационарная величина Dnст=5´10^19 м-3, а время жизни t=6,25´10-5 с.
31. Определите плотность тока термоэлектронной эмиссии из германия p-типа при температуре T=300 К, если уровень Ферми занимает положение на 5 кТ выше потолка валентной зоны, а внешняя работа выхода c0 = 4,0 эВ, постоянная Ричардсона A=1,2´10^6 А/(м^2×град^2), ширина запрещенной зоны DE=0,67 эВ.
32. Вычислите ширину области пространственного заряда в резком p-n переходе на n-Ge при температуре T=300 К, если концентрации донорных и акцепторных ионов, а также собственных носителей заряда, соответственно, Nd=4´10^20 м^-3, Na=5´10^22 м-3 и ni=2,5´10^19 м-3, диэлектрическая проницаемость германия eps=16.
33. На эмиттерный переход p-n-p транзистора при T=300 К подано прямое напряжение Vэб=0,2 В. Определите концентрацию неосновных носителей заряда в базе вблизи эмиттерного перехода, если концентрации основных носителей заряда в эмиттере и базе, соответственно, равны 1´10^24 м-3 и 1´10^20 м-3. Для расчета примите концентрацию собственных носителей, равной 2,5´10^19 м-3.
34. Вычислите плотность обратного тока насыщения в p-n переходе на германии при температуре 300 К. Удельные сопротивления дырочной и электронной областей, соответственно, равны 1,6´10^-4 Ом×м и 6,5´10^-3 Ом×м; подвижности: mp=0,19 м^2/В×с, mn=0,39 м^2/В×с; времена жизни: tp=400 мкс, tn=100 мкс; концентрация собственных носителей равна 2,1´10^19 м-3.
35. Обратный ток насыщения стандартного p-n перехода (диода) при температуре 300 К равен 2 мкА. Определите напряжение, при котором прямой ток достигнет величины 10 мА.

### 9.1.4. Примерный перечень вопросов для защиты лабораторных работ

1. Чем отличаются энергетические спектры электронов в кристалле и в изолированном атоме?
2. Что понимается под валентной зоной, зоной проводимости и запрещенной зоной?
3. От чего зависит ширина запрещенной зоны?
4. Какова ширина запрещенной зоны у различных твердых тел?
5. Каким методом можно определить ширину запрещенной зоны?
6. Что понимается под обратной вольтамперной характеристикой p-n перехода?
7. Какие факторы влияют на величину обратного тока в области насыщения?
8. Почему для определения ширины запрещенной зоны методом p-n перехода необходима температурная зависимость обратного тока?
9. По каким соображениям в данной работе измеряется семейство обратных вольтамперных характеристик p – n перехода при различных температурах, вместо одной зависимости IS = f(T)?
10. Что такое экстраполяция?
11. Какова методика расчета ширины запрещенной зоны?
12. Чем отличается энергетический спектр электронов в кристаллическом полупроводнике от спектра абсолютно свободного электрона?
13. Что такое зона проводимости, валентная и запрещенная зоны?
14. Какое отношение имеют валентная зона и зона проводимости к электропроводности полупроводника?
15. Чем собственный полупроводник отличается от электронного, электронный от дырочного?
16. Почему концентрация собственных носителей заряда зависит от ширины запрещенной зоны, а концентрация электронов в примесном полупроводнике n - типа от энергии примесного уровня?
17. В какой области экспериментальной зависимости lnσ ~ 1/T и почему проявляется температурная зависимость подвижности носителей заряда?
18. Объясните температурную зависимость электропроводности полупроводника.

Согласована на портале № 83396

19. Как концентрация примеси и энергия ионизации примесного уровня влияют на зависимость $\ln\sigma \sim 1/T$ ?
20. Почему в сильных электрических полях электропроводность арсенида галлия может уменьшаться?
21. Объясните вольтамперную характеристику диода Ганна.
22. Что такое эффективная подвижность?
23. Охарактеризуйте процесс образования домена.
24. Объясните природу СВЧ колебаний тока в диоде Ганна.
25. Почему колебания тока наблюдаются при напряженности электрического поля выше порогового значения?
26. Почему в образце не возникает одновременно более одного домена?
27. Какое практическое применение имеют диоды Ганна?
28. Как рассчитать пороговую напряженность электрического поля, максимальную плотность тока, наибольшее изменение подвижности носителей заряда?
29. Объясните природу зарядовой емкости.
30. Как по вольтфарадной характеристике определить контактную разность потенциалов?
31. Объясните влияние распределения примеси на вольтфарадную характеристику.
32. Как по вольтфарадной характеристике определить тип p-n перехода (резкий или плавный)?
33. Объясните, почему пробивное напряжение для резкого p-n перехода зависит от концентрации примеси, а для плавного - от градиента концентрации.
34. Поясните, что такое «база» диода.
35. Как по вольтамперной характеристике определить сопротивление базы?
36. Как можно рассчитать концентрацию примеси в базе диода?

### 9.1.5. Темы лабораторных работ

1. Измерение подвижности носителей заряда.
2. Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда
3. Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлектронике.
4. Исследование температурной зависимости электропроводности германия.
5. Исследование вольтамперных и вольтфарадных характеристик полупроводникового диода.
6. Изучение фотопроводимости полупроводников и определение времени жизни неравновесных носителей заряда.

## 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

Согласована на портале № 83396

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;

– 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:**

Согласована на портале № 83396

– 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 № 83396

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры КУДР
протокол № 254 от « 7 » 2 2025 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. КУДР | С.А. Артищев | Согласовано, 681e3bf8-552d-43b0-9038-80b95cad2721 |
| Заведующий обеспечивающей каф. КУДР | С.А. Артищев | Согласовано, 681e3bf8-552d-43b0-9038-80b95cad2721 |
| Начальник учебного управления | И.А. Лариошина | Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73 |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Доцент, каф. КУДР | С.А. Артищев | Согласовано, 681e3bf8-552d-43b0-9038-80b95cad2721 |
| Доцент, каф. КУДР | Е.И. Тренкаль | Согласовано, b613d4df-d0ea-4bce-897e-cfdd95ae1b46 |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Профессор, каф. КУДР | С.Г. Еханин | Разработано, 86acd1b6-de01-4ce6-82e2-d3d0b01bea75 |

Согласована на портале № 83396