



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«МИРЭА – Российский технологический университет»

**Общий факультет (Фрязино)**

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала РТУ МИРЭА в г.  
Фрязино

\_\_\_\_\_ Макарова Л.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)  
Физические основы микро- и наноэлектроники**

Читающее подразделение	<b>кафедра общенаучных дисциплин</b>
Направление	<b>11.03.03 Конструирование и технология электронных средств</b>
Направленность	<b>Проектирование и технология радиоэлектронных средств</b>
Квалификация	<b>бакалавр</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Общая трудоемкость	<b>4 з.е.</b>

**Распределение часов дисциплины и форм промежуточной аттестации по семестрам**

Семестр	Зачётные единицы	Распределение часов							Формы промежуточной аттестации
		Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	Самостоятельная работа	Контактная работа в период практики и (или) аттестации	Контроль	
5	4	144	16	16	32	44	2,35	33,65	Экзамен

Программу составил(и):

*канд. физ.-мат. наук, доцент, Сизов Владимир Евгеньевич* \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины

**Физические основы микро- и нанoeлектроники**

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 928)

составлена на основании учебного плана:

направление: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

направленность: «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**кафедра общенаучных дисциплин**

Протокол от 30.08.2021 № 1

Зав. кафедрой Щучкин Григорий Григорьевич \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры  
**кафедра общенаучных дисциплин**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2022 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры  
**кафедра общенаучных дисциплин**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2023 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры  
**кафедра общенаучных дисциплин**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2024 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры  
**кафедра общенаучных дисциплин**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2025 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина «Физические основы микро- и нанoeлектроники» имеет своей целью способствовать формированию у обучающихся компетенций, предусмотренных данной рабочей программой в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств с учетом специфики направленности подготовки – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Направление:	11.03.03 Конструирование и технология электронных средств
Направленность:	Проектирование и технология радиоэлектронных средств
Блок:	Дисциплины (модули)
Часть:	Обязательная часть
Общая трудоемкость:	4 з.е. (144 акад. час.).

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть компетенциями:

**ОПК-1** - Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

**УК-1** - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

**ОПК-2** - Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

**УК-1** : Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

**УК-1.1** : Осваивает методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, метод системного анализа.

#### **Знать:**

- методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере микроэлектроники

#### **Уметь:**

- собирать и обрабатывать информацию из российских и зарубежных источников информации в области микроэлектроники

#### **Владеть:**

- на системном уровне методиками поиска, сбора и обработки информации из российских и зарубежных источников информации в области электроники

**УК-1.2** : Применяет методики поиска, сбора и обработки информации, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, применять системный подход для решения поставленных задач.

#### **Знать:**

- методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники

#### **Уметь:**

- уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники

**Владеть:**

- владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники

**ОПК-1 : Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности****ОПК-1.1 : Осваивает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы****Знать:**

- знает основные физические принципы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники

**Уметь:**

- решать задачи, основываясь на знании основных физических принципов, определяющие процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники

**Владеть:**

- физическими и математическими методами решения задач при инженерной деятельности.

**ОПК-1.2 : Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера****Знать:**

- знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники

**Уметь:**

- применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера

**Владеть:**

- методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах

**ОПК-1.3 : Использует навыки применения знаний физики и математики при решении практических задач****Знать:**

- знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники

**Уметь:**

- использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники

**Владеть:**

- навыками применения знаний физики и математики при решении практических задач

**ОПК-2 : Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных****ОПК-2.5 : Осваивает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации****Знать:**

- основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники

**Уметь:**

- применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники

**Владеть:**

- владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники

**ОПК-2.6 : Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования****Знать:**

- способы и средства измерений и экспериментальных исследований в области микро- и нанoeлектроники

**Уметь:**

- проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники

**Владеть:**

- навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения

**ОПК-2.7 : Использует способы обработки и представления полученных данных и способы оценки погрешности результатов измерений****Знать:**

- способы обработки и представления полученных данных в области микро- и нанoeлектроники

**Уметь:**

- обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и нанoeлектроники

**Владеть:**

- навыками обработки и представления полученные данные в области микро- и нанoeлектроники и оценивать погрешности результатов измерений

**В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН****Знать:**

- знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники
- способы обработки и представления полученных данных в области микро- и нанoeлектроники
- знает основные физические принципы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники
- способы и средства измерений и экспериментальных исследований в области микро- и нанoeлектроники
- основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники
- знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники
- методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники
- методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере микроэлектроники

**Уметь:**

- использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники
- проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники
- применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники
- собирать и обрабатывать информацию из российских и зарубежных источников информации в области микроэлектроники

- решать задачи, основываясь на знании основных физических принципов, определяющие процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники
- уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники
- применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера
- обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и наноэлектроники

#### **Владеть:**

- навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и наноэлектроники с использованием современных средств измерения
- навыками обработки и представления полученные данные в области микро- и наноэлектроники и оценивать погрешности результатов измерений
- физическими и математическими методами решения задач при инженерной деятельности.
- владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и наноэлектроники
- на системном уровне методиками поиска, сбора и обработки информации из российских и зарубежных источников информации в области электроники
- владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроники
- навыками применения знаний физики и математики при решении практических задач
- методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

При проведении учебных занятий организация обеспечивает развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений и лидерских качеств.

<b>Код занятия</b>	<b>Наименование разделов и тем /вид занятия/</b>	<b>Сем.</b>	<b>Часов</b>	<b>Компетенции</b>
<b>1. Элементы физики твердого тела. Физика полупроводников.</b>				

1.1	<p><b>Элементы физики твердого тела. (Лек).</b>          Кристаллические и аморфные твердые тела. Типы кристаллических решеток. Дефекты в кристаллах. Тепловые колебания в твердых телах. Понятие о фононах. Теплоемкость, теплопроводность и тепловое расширение твердых тел. Статистический подход для описания свойств твердых тел. Понятие о функциях распределения и функциях плотности состояний. Фермионы и бозоны. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Энергия Ферми. Вырожденное и невырожденное состояния. Бозе-конденсация. Физические основы квантовой механики. Применение уравнения Шредингера к описанию движения свободной частицы. Фазовая и групповая скорости. Элементы зонной теории твердого тела. Электрон в периодическом потенциальном поле. Модель Кронига-Пенни. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса носителей заряда. Зонная структура диэлектриков, полупроводников, металлов. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. Знает основные физические принципы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.1, ОПК-1.3, УК-1.2
-----	--	---	---	--------------------------



1.2	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику на построение модели Кронига-Пенни и "теплоемкость, теплопроводность и тепловое расширение твердых тел". Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники решать задачи, основываясь на знании основных физических принципов, определяющие процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники.обрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.1, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
1.3	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на построение модели Кронига-Пенни и "теплоемкость, теплопроводность и тепловое расширение твердых тел". Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники решать задачи, основываясь на знании основных физических принципов, определяющие процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники.обрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.1, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7

1.4	<p><b>Изучение температурной зависимости, сопротивления полупроводников и определение энергии активации. (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники. владеть физическими и математическими методами решения задач при инженерной деятельности. применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники. навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения. обрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и нанoeлектроники. Владеть навыками обработки и представления полученные данных в области микро- и нанoeлектроники и оценивать погрешности результатов измерений</p>	5	2	ОПК-1.1, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
1.5	<p><b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники</p>	5	3,15	ОПК-1.3, УК-1.2
1.6	<p><b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории</p>	5	3,15	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7

1.7	<p><b>Физика полупроводников (Лек).</b> Собственная проводимость полупроводников. Электроны и дырки. Равновесная концентрация носителей заряда, уровень Ферми. Зависимость концентрации носителей от температуры. Примесные уровни и примесная проводимость полупроводников. Акцепторные и донорные примесные атомы. Энергия активации. Уравнение баланса носителей заряда в полупроводнике. Температурная зависимость равновесной концентрации примесных носителей заряда. Закон действующих масс. Компенсированные полупроводники. Неравновесные носители заряда. Понятие о квазиуровнях Ферми. Рекомбинация, ее механизмы. Скорость рекомбинации и время жизни носителей заряда. Излучательная рекомбинация. Основные полупроводники, применяемые в микроэлектронике (кремний, германий, арсенид галлия), их свойства. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока. Коэффициент диффузии носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Монополярная и биполярная диффузия носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. Знает основные физические принципы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.1, ОПК-1.3, УК-1.2
1.8	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на статистику электронов и дырок в полупроводниках...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники решать задачи, основываясь на знании основных физических принципов, определяющие процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники.</p>	5	2	ОПК-1.1, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7

1.9	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на акцепторные, донорные и примесные атомы, излучательную рекомбинацию... Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники решать задачи, основываясь на знании основных физических принципов, определяющие процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники.</p>	5	2	ОПК-1.1, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
1.10	<p><b>Изучение фотопроводимости полупроводников и определение релаксационного времени жизни носителей заряда (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники. владеть физическими и математическими методами решения задач при инженерной деятельности. проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники. навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения. обрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и нанoeлектроники. Владеть навыками обработки и представления полученные данных в области микро- и нанoeлектроники и оценивать погрешности результатов измерений</p>	5	2	ОПК-1.1, УК-1.2, ОПК-2.6, ОПК-2.7
1.11	<p><b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники</p>	5	3,15	ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
1.12	<p><b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории</p>	5	3,15	ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, УК-1.1

## 2. Электропроводность твердых тел. Контактные явления.

<b>2.1</b>	<p><b>Электропроводность твердых тел (Лек).</b>          Классическая теория электропроводности, ее недостатки. 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. Температурные зависимости подвижности и концентрации носителей заряда в металлах. Температурная зависимость удельной проводимости металлов. 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. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники. основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. способы и средства измерений и экспериментальных исследований в области микро- и нанoeлектроники. способы обработки и представления полученных данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
------------	---	---	---	---

2.2	<p><b>Исследование эффекта сильного поля (эффект Ганна) и его использование в устройствах микроэлектроники (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники. методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники. навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения. Владеть навыками обработки и представления полученные данных в области микро- и нанoeлектроники и оценивать погрешности результатов измерений</p>	5	2	ОПК-1.2, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
2.3	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "электропроводность металлов и полупроводников"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. обрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7

2.4	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "эффекты сильного поля"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
2.5	<p><b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники</p>	5	3,15	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
2.6	<p><b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории</p>	5	3,15	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7

2.7	<p><b>Контактные явления (Лек).</b> Работа выхода. Из металлов и полупроводников. Термоэлектронная эмиссия. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-полупроводник в равновесном и неравновесном состояниях. Приконтактные слои обеднения, обогащения, инверсии. Эффект Шоттки. Толщина обедненного слоя. Распределение потенциала Диод Шоттки. ВАХ диода Шоттки. P-n переход, его энергетические диаграммы в равновесном и неравновесном состоянии. Обедненный слой, электрические поля в обедненном слое. Резкий и плавный p-n переходы. Толщина обедненного слоя. Контактная разность потенциалов. Обратный ток p-n перехода, его составляющие. ВАХ p-n перехода. Зарядная и диффузионная емкости p-n перехода. Пробой p-n перехода и его механизмы (лавинный, туннельный, тепловой). Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники. основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. способы и средства измерений и экспериментальных исследований в области микро- и нанoeлектроники. способы обработки и представления полученных данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
2.8	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "генерация и рекомбинация заряда"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7



2.9	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "переходные процессы в биполярном транзисторе"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и наноэлектроники	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
2.10	<b>Исследование дрейфа носителей заряда в полупроводнике (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и наноэлектроникиметодами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах.применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроникиобрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и наноэлектроники. Владеть навыками обработки и представления полученные данных в области микро- и наноэлектроники и оценивать погрешности результатов измерений	5	1	ОПК-1.2, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.7
2.11	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем.Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и наноэлектроники	5	1,677	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2
2.12	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала,подготовка к занятиям в аудитории	5	1,677	ОПК-2.7, ОПК-2.6, ОПК-2.5, ОПК-1.3, УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2

2.13	<p><b>Исследование электрических свойств р-п перехода (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах. применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники. навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и нанoeлектроники. Владеть навыками обработки и представления полученные данные в области микро- и нанoeлектроники и оценивать погрешности результатов измерений</p>	5	1	ОПК-1.2, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
------	---	---	---	--

2.14	<p><b>Контактные явления (Лек).</b> Полупроводниковые приборы на основе р-п перехода. Выпрямительные диоды. Туннельный диод. Энергетические диаграммы, принцип действия, ВАХ. Лавинно-пролетный диод. Лавинное умножение и дрейф. Характеристики лавинно-пролетных диодов. Структура и физика работы биполярного транзистора, его энергетическая диаграмма. Инжекция носителей. Активный режим, режимы насыщения и отсечки. Схема с общей базой, общим эмиттером и коллектором. Коэффициент усиления по току. Эффективности эмиттера и коллектора, коэффициент переноса неосновных носителей заряда в базе. Переходные процессы в биполярном транзисторе. Частота отсечки. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники. основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. способы и средства измерений и экспериментальных исследований в области микро- и нанoeлектроники. способы обработки и представления полученных данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
2.15	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "р-п-переходы"... Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-2.7, ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2

2.16	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "переходные процессы в биполярном транзисторе"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и наноэлектроники	5	2	ОПК-2.7, УК-1.2, ОПК-1.2, ОПК-1.3
2.17	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. использовать основные приемы и алгоритмы построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и наноэлектроники	5	3,15	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2
2.18	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории	5	0	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7

### 3. Поверхностные, гальвамагнитные, фотоэлектрические, термомагнитные и

3.1	<p><b>Поверхностные явления в полупроводниках. Гальвамагнитные, термомагнитные и термоэлектрические явления. (Лек).</b></p> <p>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 р-п переходом. ВАХ этих приборов. Влияние зависимости подвижности от поля. Ток насыщения, крутизна характеристики. МДП (МОП)-транзисторы. Идеальная МДП-структура. Эффект поля. МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. ВАХ МДП-транзистора. Режимы обеднения, обогащения, инверсии. Приближенная модель и ее уточнение. Роль поверхностных состояний. Разновидности МОП-транзисторов. Высокочастотные МОП-транзисторы. Переходные процессы в полевых транзисторах. Эквивалентная схема МОП-транзистора. Движение носителей заряда при наличии магнитного поля. Магнетосопротивление, эффект Холла и его применения. Эффекты Нернста, Риги-Ледюк, Эттинггаузена. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона, области применения. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники. основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. способы и средства измерений и экспериментальных исследований в области микро- и нанoeлектроники. способы обработки и представления полученных данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
-----	---	---	---	---

3.2	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "оптические системы в микроэлектронике"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и наноэлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
3.3	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Решение задач на тематику "фотоэлектрические явления в полупроводниках"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и наноэлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
3.4	<p><b>Изучение параметров диффузии и рекомбинации неравновесных носителей заряда, возбужденных светом (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и наноэлектроники методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах. применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроники. проводить экспериментальные исследования в области микро- и наноэлектроники. навыками проведения экспериментальных исследований в области микро- и наноэлектроники с использованием современных средств измерения. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и наноэлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7

3.5	<p><b>Фотоэлектрические явления в полупроводниках (Лек).</b> Спектры испускания и поглощения. Типы центров поглощения в полупроводниках. Понятие об экситонах. Люминесценция полупроводников. Основные законы люминесценции. Виды люминесценции. Фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Фотопроводимость при импульсном освещении. Фотоэлектрические элементы. Устройство, принцип действия, основные характеристики фоторезистора, фотодиода, фотоэлемента, фототранзистора. Светодиоды. Фотовольтаический эффект. Понятие о гетеропереходах. Солнечные батареи. Оптические системы в микроэлектронике. Оптические волноводы. Принцип действия лазеров и мазеров. Полупроводниковые лазеры. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. знает основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники. знает основные приемы и алгоритмы применения физических законов и математических методов, на основании которых происходят процессы в структурах микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2
3.6	<p><b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера</p>	5	3,1	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2
3.7	<p><b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории</p>	5	3,1	ОПК-2.7, ОПК-2.6, ОПК-2.5, ОПК-1.3, ОПК-1.2, ОПК-1.1, УК-1.2, УК-1.1

3.8	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b>  Решение задач на тематику "фотоэлектрические явления в полупроводниках", ВАХ МДП-транзистора ...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. обрабатывать и представлять полученные данных в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7
3.9	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b>  Решение задач на тематику "Режимы обеднения, обогащения, инверсии. Эквивалентная схема МОП-транзистора"...Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2, ОПК-2.7



3.10	<p><b>Изучение параметров диффузии и рекомбинации неравновесных носителей заряда (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники. методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах. применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники. навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
3.11	<p><b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера</p>	5	3,1	ОПК-1.2, ОПК-1.3, УК-1.2
3.12	<p><b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории</p>	5	3,1	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7

3.13	<p><b>Изучение гальваномагнитного эффекта (эффект Холла) (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и нанoeлектроники. методами решения задач теоретического и практического характера, основываясь на физических законах и математических методах. применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и нанoeлектроники. проводить экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники. навыками проведения экспериментальные исследования в области микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств измерения. обрабатывать и представлять полученные данные в области микро- и нанoeлектроники</p>	5	2	ОПК-1.2, УК-1.2, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
<b>4. Физические основы перспективных направлений развития микроэлектроники</b>				
4.1	<p><b>Физические основы перспективных направлений развития микроэлектроники (Лек).</b> Физические ограничения быстродействия и миниатюризации. Сверхрешетки на основе полупроводников. Электрические и оптические свойства сверхрешеток. Пространственное разделение примесных атомов и носителей заряда. Элементы интегральных схем на основе сверхрешеток. Перенос носителей заряда в тонких пленках. Сверхпроводимость. Сущность явления. Высокотемпературная сверхпроводимость. Механизмы сверхпроводимости. Критическая температура, ток, магнитное поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Контакт Джозефсона в магнитном поле. Понятие о СКВИДе. СКВИД как магнитометр. Криотроны. Сверхпроводящие элементы ЭВС. Знать методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере микроэлектроники. Знать методики поиска, сбора и обработки информации для системного решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники.</p>	5	2	УК-1.1, УК-1.2

4.2	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b>  Решение задач на тематику "контакты Джозефсона в магнитном поле"...Уметь собирать и обрабатывать информацию из российских и зарубежных источников информации в области микроэлектроники. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники.</p>	5	2	ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2
4.3	<p><b>Выполнение практических заданий (Пр).</b>  Решение задач на тематику "сверхпроводящие элементы ЭВС"...Уметь собирать и обрабатывать информацию из российских и зарубежных источников информации в области микроэлектроники. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и нанoeлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера. Применение новых промышленных технологий для решения задач. Использование BigData по полупроводниковым элементам. Использование сетевых технологий для решения задач. Использование систем автоматизированного проектирования TCAD для построения физико-математических моделей процессов и структур микро- и нанoeлектроники.</p>	5	2	ОПК-1.2, УК-1.1, УК-1.2

4.4	<b>Изучение свойств структур металл-диэлектрик -полупроводник (Лаб).</b> Проведение лабораторной работы. Владеть на системном уровне методиками поиска, сбора и обработки информации из российских и зарубежных источников информации в области электроники. Владеть системным подходом для решения поставленных задач в области микро- и наноэлектроники. применять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроники. владеет основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований, а также системами стандартизации и сертификации в области микро- и наноэлектроники	5	2	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-2.5
4.5	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания согласно варианту, выданному преподавателем. Уметь критически анализировать и синтезировать информацию для решения поставленных задач в сфере микро- и наноэлектроники. применять основные физические законы и математические методы, на основании которых происходят процессы в микросхемах и структурах микроэлектроники для решения задач теоретического и практического характера	5	3,1	ОПК-1.2, УК-1.2
4.6	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Изучение пройденного материала, подготовка к занятиям в аудитории	5	3,1	ОПК-2.7, ОПК-2.6, ОПК-2.5, ОПК-1.3, ОПК-1.2, ОПК-1.1, УК-1.2, УК-1.1
<b>5. Промежуточная аттестация (экзамен)</b>				
5.1	<b>Подготовка к сдаче промежуточной аттестации (Экзамен).</b>	5	33,65	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7
5.2	<b>Контактная работа с преподавателем в период промежуточной аттестации (КрПА).</b>	5	2,35	УК-1.1, УК-1.2, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.5, ОПК-2.6, ОПК-2.7

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 5.1. Перечень компетенций

Перечень компетенций, на освоение которых направлено изучение дисциплины «Физические основы микро- и наноэлектроники», с указанием результатов их формирования в процессе освоения образовательной программы, представлен в п.3 настоящей рабочей программы

## 5.2. Типовые контрольные вопросы и задания

1. Физические основы работы полупроводниковых приборов. Электропроводность полупроводников. Диффузионное и дрейфовое движение носителей заряда в полупроводниках. Соотношение Эйнштейна.
2. Электрические переходы, классификация. Структура электронно-дырочного перехода (n-p перехода) в условиях термодинамического равновесия. Зонная энергетическая диаграмма n-p перехода.  
22
3. Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии. Явления инжекции и экстракции носителей заряда.
4. Теоретические основы физики n-p перехода. Уравнение Шокли. Генерационно-рекомбинационные процессы в n-p переходе. Их влияние на вид реальной ВАХ n-p перехода.
5. Емкостные свойства n-p перехода. Барьерная и диффузионная емкости перехода. Полупроводниковые управляемые емкости (варикапы).
6. Процессы, протекающие в обратном смещенном n-p переходе. Виды и механизмы пробоя. Применение n-p перехода для стабилизации напряжений. Полупроводниковые стабилитроны.
7. Импульсные свойства n-p перехода. Время восстановления обратного сопротивления перехода. Импульсные и высокочастотные диоды.
8. Переход металл-полупроводник. Классификация. Энергетическая диаграмма перехода при различных соотношениях работы выхода электронов. Диоды Шоттки. Основные параметры и сфера применения.
9. Гомопереходы между полупроводниками одного типа проводимости (n-p + , p-p + ).  
Основные параметры и характеристики. Отличительные особенности переходов данного типа.
10. Практическое применение n-p перехода для выпрямления переменного тока. Полупроводниковые выпрямительные диоды, коммутационные диоды p-i-n структуры.
11. Диоды в СВЧ технике. Туннельные и обращенные полупроводниковые диоды. Принцип действия.
12. Генерация СВЧ колебаний. Лавинно-пролетные диоды.
13. Полупроводники с многодолинной структурой. Эффект Ганна и его применение в электронике.
14. Физические процессы в биполярном транзисторе. Распределение носителей заряда в базе биполярного транзистора при различных режимах работы.
15. Биполярные транзисторы, принцип действия. Движение носителей заряда и распределение токов в транзисторе.
16. Анализ статических вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме включения с общей базой.
17. Анализ статических вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме включения с общим эмиттером.
18. Математическая модель биполярного транзистора. Уравнения Эберса-Молла. Сравнение модели Эберса-Молла с моделью линейного четырехполюсника.
19. Частотные характеристики биполярного транзистора. Предельная частота усиления по току и её зависимость от параметров структуры.
20. Многопереходные полупроводниковые структуры. Принцип действия диодистора. Особенности работы управляемых тиристоров. Тиристоры с симметричной ВАХ.
21. Понятие поверхностных состояний в полупроводниках. Изгиб энергетических зон у поверхности, поверхностный потенциал. Явления обеднения, обогащения и инверсии

в МДП структурах.

22. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Строение и принцип действия. Статические ВАХ МДП-транзистора. Явление насыщения тока стока в МДП транзисторе.

23. Усилительные свойства МДП транзисторов и их зависимость от параметров структуры. Особенности структуры мощных полевых транзисторов.

24. Полевые транзисторы с управляющим n-p переходом, принцип действия и основные особенности. Анализ ВАХ транзистора.

25. Структура и принцип действия современных силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором. IGBT модули.

26. Использование полупроводников для контроля и измерения температуры. Терморезисторы, датчики с n-p переходом.

23

27. Деформация полупроводников. Влияние деформации на энергетическую структуру полупроводника и подвижность носителей заряда. Полупроводниковые датчики деформации. Тензорезисторы и тензодиоды.

28. Полупроводниковые датчики магнитного поля на основе эффекта Холла и магниторезистивного эффекта. Принцип действия магнитодиодов.

29. Особенности конструкции и принцип действия магнитотранзисторов.

30. Особенности структуры n-p-n БП транзисторов ИМС с изоляцией на основе n-p перехода. Влияние общей подложки на работу биполярных транзисторов ИМС.

31. Сравнительная характеристика элементов биполярных ИМС с диэлектрической и комбинированной изоляцией. Особенности структуры мощных интегральных транзисторов.

32. Интегральные транзисторы типа p-n-p. Основные параметры и особенности структуры.

33. Многоэмиттерные транзисторы ИМС. Принцип действия.

34. ИМС повышенной степени интеграции. Многоколлекторные транзисторы.

35. Использование выпрямляющего контакта металл-полупроводник для увеличения быстродействия биполярных транзисторов Транзисторы с диодом Шоттки.

36. Диодные структуры в микроэлектронике. Сравнительная характеристика. Влияние подложки ИМС на параметры и характеристики интегральных диодов и стабилитронов.

37. Конструктивные особенности активных элементов полупроводниковых микросхем на основе полевых транзисторов. КМОП структуры.

38. Использование двух-затворных МДП структур для создания постоянных запоминающих устройств с электрическим стиранием информации.

39. Использование МДП структур для создания постоянных запоминающих устройств с УФ стиранием информации.

40. Приборы с зарядовой связью, сфера применения и принцип действия.

41. Резистивные элементы в микроэлектронике. Пленочные и диффузионные резисторы.

42. Конденсаторы и индуктивные элементы в микроэлектронике.

43. Сущность эффектов короткого канала в МДП структурах. Механизм влияния короткоканальных эффектов на пороговое напряжение транзисторов.

44. Основные проблемы миниатюризации МДП транзисторов. Выбор материала подзатворного диэлектрика. Сравнительный анализ ВАХ характеристик МДП транзисторов с коротким и длинным каналом.

45. Конструктивные особенности субмикронных транзисторов LDD структуры и их влияние на эффекты короткого канала.

46. Современные МДП транзисторы на основе технологии «напряженного» кремния. Принцип действия. Критерии выбора материала для формирования области канала таких транзисторов.

47. Физические ограничения в микроэлектронике. Предельная плотность тока и электромиграция в ИМС. Влияние межэлементных соединений на работу ИМС.

Понятие задержки импульса.

48. Сравнительная характеристика подложек на основе кремния и арсенида галлия. Структура и принцип действия полевых транзисторов с управляющим переходом металл-полупроводник.

49. Гетероструктуры на основе арсенида галлия. Явления сверхинжекции в гетеропереходах. Гетеропереходные биполярные транзисторы.

50. Понятие двумерного электронного газа. Использование гетероперехода при создании полевых приборов. НЕМТ транзисторы. Отличительные особенности структур псевдоморфных и метаморфных НЕМТ транзисторов.

51. Понятие функциональной электроники. Принцип действия основных приборов пьезоэлектроники. Использование пьезоэффекта в оптоэлектронике.

52. Элементы функциональной электроники. Акустоэлектрический эффект. Приборы на основе поверхностно-акустических волн. Акустоэлектрические усилители.

Тест по твердотельной электронике. Электропроводность собственного полупроводника определяется:

1. электронами
2. дырками
3. электронами и дырками совместно

Кремний будет иметь дырочную проводимость, если он легирован

1. элементом третьей группы
2. элементом четвертой группы
3. элементом пятой группы

13

Движущей силой диффузионного движения носителей заряда в полупроводниках является

1. градиент температуры
2. градиент концентрации
3. градиент потенциала

Электронно-дырочным переходом называется переход между:

1. двумя полупроводниками одинаковой химической природы и одинакового типа электропроводности, но с различными уровнями легирования контактирующих областей
2. двумя полупроводниками одинаковой химической природы, но с различными типами проводимости контактирующих областей
3. между металлом и полупроводником

При прямом включении полупроводникового диода зависимость тока от напряжения описывается

1. прямой
2. гиперболой
3. экспонентой
4. ток не зависит от напряжения

Гетеропереход представляет собой контакт двух полупроводников

1. с разными типами проводимости
2. с различной электропроводностью и одним типом проводимости
3. с различной шириной запрещенной зоны

Туннельный диод представляет собой электрический переход, образованный

1. двумя слаболегированными полупроводниками
2. двумя сильнолегированными полупроводниками
3. металлом и полупроводником

В биполярном транзисторе активный режим соответствует включению

1. эмиттерного и коллекторного переходов в прямом направлении
2. эмиттерного и коллекторного переходов в обратном направлении
3. эмиттерного – в обратном, а коллекторного – в прямом
4. эмиттерного – в прямом, а коллекторного – в обратном

Коэффициент передачи по току в биполярном транзисторе

1. меньше единицы
2. равен единице

3. больше единицы

Принцип действия какого из перечисленных приборов основан на движении носителей заряда только одного знака

1. биполярного транзистора
2. полевого транзистора
3. полупроводникового диода
4. стабилитрона

Полевой транзистор с управляющим n-p переходом работает в режиме

1. обеднения
2. обогащения
3. обогащения и обеднения

Область полевого транзистора, проводимость которой изменяется под действием управляющего напряжения, называется

1. истоком
2. стоком
3. затвором
4. каналом

Микроэлектроника и функциональная электроника

14

Степень интеграции микросхем это число элементов

1. на единице площади
2. в единице объема
3. на кристалле

Наиболее распространенными интегральными микросхемами являются

1. пленочные
2. полупроводниковые
3. гибридные

Из указанных ниже видов изоляции интегральных микросхем на биполярных транзисторах наиболее надежной является

1. изоляция с помощью обратносмещенного n-p перехода
2. диэлектрическая изоляция
3. комбинированная изоляция

Один из переходов интегрального биполярного транзистора можно использовать в качестве следующего элемента интегральной схемы

1. изоляции
2. диода
3. индуктивности

Один из переходов биполярного транзистора, включенный в обратном направлении, может работать как

1. индуктивность
2. емкость
3. сопротивление

Пассивным элементом, который нельзя сформировать в полупроводниковых интегральных микросхемах, является

1. резистор
2. емкость
3. индуктивность

Доля микросхем, основным активным элементом которых является биполярный транзистор, составляет около

1. 30%
2. 50%
3. 70%

К активным элементам микросхем относятся

1. резисторы
2. транзисторы



### 3. конденсаторы

#### Вакуумная электроника

При движении электрона в магнитном поле:

1. траектория движения не изменяется
2. траектория движения изменяется
3. энергия электрона не изменяется

Волновые свойства электрона проявляются, если его движение ограничено областью пространства, линейные размеры которого по отношению к длине волны Де-Бройля электрона

1. много меньше
2. соизмеримы
3. много больше

Для нахождения энергии уровня Ферми в металле необходимо знать:

1. концентрацию электронов в металле
2. работу выхода электронов из металла
3. среднюю энергию электронов в металле

15

С увеличением работы выхода электронов из металла плотность термоэлектронного тока:

1. линейно возрастает
2. увеличивается экспоненциально
3. уменьшается

Фотоэлектронная эмиссия - это испускание электронов под действием

1. нагревания
2. электрического поля
3. электромагнитного излучения

Типичная спектральная характеристика фотокатода имеет вид

1. монотонно растущей кривой
2. монотонно убывающей кривой
3. кривой с максимумом

Глубина проникновения первичных электронов в металл пропорциональна их энергии

1. в степени  $1/2$
2. в степени  $3/2$
3. в степени 2

Автоэлектронная эмиссия – это испускание электронов твердым телом под действием

1. электромагнитного излучения
2. нагревания
3. внешнего электрического поля

Основным условием существования объемного заряда в вакуумном диоде является

1. превышение тока эмиссии над анодным током
2. равенство тока эмиссии и анодного тока
3. превышение анодного тока над эмиссионным

Рабочим режимом вакуумного диода является

1. режим насыщения
2. режим объемного заряда
3. любой участок ВАХ диода

Сетка в триоде служит для

1. снижения анодного напряжения
2. управления анодным током
3. управления плотностью объемного заряда

Коэффициент усиления триода – это частная производная

1. анодного тока по анодному напряжению
2. анодного напряжения по анодному току
3. анодного напряжения по сеточному напряжению

Динактронный эффект проявляется

1. только в диодах

2. только в триодах

3. только в тетрадах

В однородном магнитном поле траекторией электрона является

1. спираль

2. парабола

3. гипербола

Чувствительность электростатической отклоняющей системы

1. растет с ростом длины отклоняющих пластин

2. растет с уменьшением длины отклоняющих пластин

3. не зависит от длины отклоняющих пластин

В кинескопе используется

1. электростатическая фокусировка

2. электростатическое отклонение луча

3. магнитная фокусировка

Осциллографические трубки относятся к ЭЛТ типа

1. передающих

16

2. приемных

3. запоминающих

Напряженность однородного электрического поля между двумя параллельными пластинами

1. уменьшается от катода к аноду

2. увеличивается от катода к аноду

3. неизменна

На участке насыщения ВАХ вакуумного диода анодный ток

1. постоянен

2. растет из-за проявления эффекта Шоттки

3. растет из-за проявления туннельного эффекта

Вторичная электронная эмиссия – это испускание электронов под действием

1. нагревания

2. электромагнитного излучения

3. внешнего электрического поля

Плазменная электроника

При упругих столкновениях с атомами или молекулами газа электроны

1. теряют часть энергии пропорционально отношению масс

2. не обмениваются энергией

3. приобретают часть энергии пропорционально отношению масс

Состояние вещества в виде низкотемпературной плазмы реализуется в

1. положительном столбе тлеющего разряда

2. катодных областях тлеющего и дугового разряда

3. искровом разряде

При неупругих столкновениях второго рода с атомами и молекулами газа электроны

1. теряют большую часть энергии

2. теряют малую часть энергии

3. приобретают энергию

Электронное возбуждение атомов и молекул газа при электронном ударе – это процесс столкновения

1. упругий

2. неупругий первого рода

3. неупругий второго рода

Зависимость сечения возбуждения атомов и молекул при электронном ударе от энергии электронов имеет вид

1. экспоненциально возрастающей кривой

2. кривой с максимумом

3. кривой с минимумом

В условиях неравномерного распределения электрического поля в разрядном промежутке,

когда радиус кривизны одного электрода существенно отличается от другого, наиболее вероятно возникновение разряда

1. тлеющего
2. высокочастотного
3. коронного

Прерывистый характер присущ разряду

1. дуговому
2. искровому
3. тлеющему

Поддержание самостоятельного тлеющего разряда постоянного тока обеспечивается

1. термоэлектронной эмиссией
2. вторичной электрон-ионной эмиссией
3. фотоэлектронной эмиссией

Для неравновесной газоразрядной плазмы низкого давления характерное соотношение энергии частиц газа ( $E_g$ ), ионов ( $E_i$ ) и электронов ( $E_e$ ) имеет вид

17

1.  $E_e = E_i = E_g$
2.  $E_e \gg E_i > E_g$
3.  $E_i > E_e > E_g$

Сверхвысокочастотные методы диагностики плазмы преимущественно применяются для исследования характеристик

1. дугового и высокочастотного разрядов высокого давления
2. искровых разрядов
3. тлеющего разряда низкого давления

Образование заряженных частиц в объеме самостоятельного тлеющего разряда происходит в основном за счет:

1. термической ионизации
2. ионизации при прямом электронном ударе
3. фотоионизации

Зависимость потенциала зажигания разряда от давления (кривая Пашена) имеет вид:

1. монотонно растущей кривой
2. монотонно убывающей кривой
3. кривой с минимумом

Вольт-амперная характеристика дугового разряда (в виде зависимости напряжения от тока разряда) представляет собой

1. возрастающую кривую
2. прямую линию, параллельную оси тока
3. убывающую кривую

В газовых стабилитронах используется участок вольт-амперной характеристики, соответствующий

1. аномальному тлеющему разряду
2. нормальному тлеющему разряду
3. дуговому разряду

Закономерности развития какого разряда позволяет описать понятие стриммера

1. дугового
2. тлеющего
3. искрового

Уменьшить напряжение зажигания тлеющего разряда можно

1. изготовив электроды из материала с меньшей работой выхода электронов
2. изготовив электроды из материала с большей работой выхода электронов
3. добавив к основному газу легкоионизируемую примесь

Зондовые методы исследования плазмы позволяют определить

1. среднюю энергию электронов
2. концентрацию атомов в возбужденном состоянии
3. температуру нейтральной компоненты плазмы

Скорость дрейфа электронов – это скорость:

1. теплового хаотического движения
2. скорость движения электронов на внешней орбите атома или молекулы
3. скорость направленного движения вдоль силовых линий поля

Принцип Франка-Кондона заключается в:

1. постоянстве межъядерного расстояния при переходе в электронно-возбужденное состояние
2. постоянстве плотности тока в области нормального тлеющего разряда состояние
3. уменьшении коэффициента диффузии положительных ионов в тлеющем разряде низкого давления

Ртуть в люминесцентных лампах используется:

1. для облегчения зажигания разряда
2. для создания инверсной заселенности в атомах неона
3. как источник УФ излучения

18

Квантовая электроника

Во сколько раз усиливается излучение по мощности, если коэффициент усиления составляет 20 дБ

1. в 10 раз
2. в 100 раз
3. в 20 раз

Спонтанное испускание фотона веществом

1. требует внешнего воздействия магнитным полем
2. требует внешнего воздействия электрическим полем
3. не зависит от внешних воздействий

Коэффициент Эйнштейна для вынужденного оптического перехода и среднее время жизни частицы в возбужденном состоянии связаны

1. логарифмической зависимостью
2. прямопропорциональной зависимостью
3. обратнопропорциональной зависимостью

Доплеровское уширение спектральной линии

1. определяется временем жизни частиц в возбужденном состоянии
2. связано с частотой столкновения излучающих частиц
3. связано со скоростью хаотического движения излучающих частиц

Преимущество сферических зеркал оптических резонаторов перед плоскими заключается в том, что

1. их площадь больше
2. требуется значительно меньшая точность их установки
3. они выдерживают более высокую температуру

Оптический резонатор в лазере служит для

1. создания инверсной заселенности в активной среде
2. поляризации излучения
3. многократного пропускания излучения через активную среду

В гелий-неоновом лазере генерация излучения происходит

1. при переходах между электронными уровнями неона
2. при переходах между электронными уровнями гелия
3. при переходах между колебательными уровнями молекулы  $Ne_2$

Гелий в гелий-неоновом лазере необходим для

1. управления длиной волны излучения
2. увеличения коэффициента вторичной ион-электронной эмиссии
3. температурной стабилизации среды

В эксимерных лазерах для создания инверсной заселенности используется

1. химическая реакция
2. прохождение потока газа через сопло
3. флуоресценция органического красителя

Какой из перечисленных лазеров генерирует излучение в ультрафиолетовой области спектра?

1. рубиновый
2. эксимерный
3. на неодимовом стекле

Выберите наиболее известные лазеры, работающие в инфракрасной области спектра

1. лазер на CO<sub>2</sub>
2. лазер на неодимовом стекле
3. гелий-неоновый лазер

Выберите лазеры, работающие в видимой области спектра

1. гелий-неоновый лазер
2. эксимерный лазер
3. лазер на CO<sub>2</sub>

В веществе с двухуровневой энергетической схемой ( $E_1 < E_2$ ) с помощью системы накачки

1. инверсную заселенность получить невозможно
2. инверсная заселенность достигается при сравнительно малых мощностях накачки
3. инверсная заселенность достигается только при больших мощностях накачки

Для создания лазера на n-p переходе необходимо применить

1. собственные кремний или германий
2. слаболегированные полупроводники
3. сильнолегированные полупроводники

Одно из зеркал оптических резонаторов в лазерах делается полупрозрачным с целью

1. увеличить монохроматичность излучения
2. вывести излучение из объема резонатора
3. уменьшить размеры резонатора

Степень монохроматичности лазерного излучения

1. обратно пропорциональна добротности резонатора
2. пропорциональна квадрату добротности резонатора
3. не зависит от добротности резонатора

Добротность оптического резонатора

1. прямо пропорциональна его длине
2. обратно пропорциональна его длине
3. пропорциональна квадратному корню от его длины

Наименьшим порогом создания инверсной заселенности обладает

1. одноуровневая система
2. двухуровневая система
3. трехуровневая система
4. четырехуровневая система

Наличие столкновительного уширения спектральной линии лазерного излучения является характерной особенностью лазеров

1. полупроводниковых
2. жидкостных
3. газовых

Какие из перечисленных типов лазеров позволяют изменять частоту излучения в широких пределах

1. рубиновый
2. лазер на красителях
3. гелий-неоновый

Оптическая электроника

В светодиоде

1. обе области должны быть слабо легированы
2. одна область должна быть легирована больше другой
3. обе области должны быть сильно легированы

Наибольшие сложности возникают при получении светодиодов

1. красного
2. зеленого
3. синего цвета свечения

Интенсивность излучения лазерного диода с ростом тока через переход

1. увеличивается
2. не изменяется
3. уменьшается

Световая характеристика фоторезистора линейна, если

1. фотопроводимость меньше тепловой проводимости
2. равна тепловой проводимости
3. больше тепловой проводимости

Длина волны излучаемого светодиодом света зависит от

1. потока инжектированных через переход носителей
2. ширины запрещенной зоны полупроводника

20

3. величины приложенного к переходу прямого напряжения

При работе фотоэлектрических приборов в фотовентильном режиме

1. внешнее напряжение не прикладывается
2. на переход подается прямое напряжение
3. на переход подается обратное напряжение

Если  $n_1$  – показатель преломления сердцевины световода, а  $n_2$  – показатель преломления его оболочки, то для них будет выполняться следующее условие

1.  $n_2 > n_1$
2.  $n_2 < n_1$
3.  $n_2 = n_1 = 1$

Если в поперечном сечении оптического волокна уменьшение показателя преломления от центра к краю происходит плавно, то этот элемент –

1. линейный световод
2. рассеивающий световод
3. градиентный световод

Создать жидкокристаллический индикатор с изменяемым цветом ячейки можно, если использовать эффект

1. "твист-эффект"
2. "гость-хозяин"
3. Шоттки

Длинноволновая граница спектральной чувствительности фотодиода определяется

1. скоростью поверхностной рекомбинации
2. шириной запрещенной зоны полупроводника
3. величиной приложенного к фотодиоду напряжения

Для изготовления фоторезисторов применяются

1. собственные полупроводники
2. сегнетоэлектрики
3. сильнолегированные полупроводники

Величина фототока, протекающего через пр переход при воздействии на него светового потока с интенсивностью  $\Phi$  определяется выражением ( $k$  – коэффициент fotocувствительности)

1.  $I = k \ln(\Phi n)$
2.  $I = k \Phi n$
3.  $I = \exp(k \Phi)$

Наибольшая длина волны, при которой наблюдается поглощение излучения полупроводником, соответствует

1. примесному поглощению
2. решеточному поглощению
3. собственному поглощению при прямых переходах

Какому из механизмов поглощения в полупроводнике соответствует наименьшая длина волны поглощаемого излучения

1. собственному
2. примесному
3. поглощению свободными носителями заряда

Полуволновое напряжение управления электрооптического модулятора – это напряжение, при котором

1. пропускание модулятора максимально
2. сдвиг фаз между лучами составляет половину длины волны
3. интенсивность проходящего излучения увеличивается вдвое

Положение максимума на спектральной характеристике фоторезистора определяется

1. напряжением, приложенным к фоторезистору
2. углом падения излучения на поверхность фоторезистора
3. ширины запрещенной зоны полупроводника

Дефлекторы электронно-оптических линий предназначены для изменения

21

1. во времени поляризации лазерного излучения
2. по заданному закону интенсивности лазерного излучения
3. во времени положения пучка лазерного излучения

В каком случае вольтметр, подключенный к однородному кристаллу полупроводника, зафиксирует появление фото-ЭДС

1. при освещении красным светом сильнолегированного кристалла германия
2. при освещении зеленым светом сильнолегированного кристалла кремния
3. во всех случаях вольтметр покажет 0, так как фото-ЭДС не образуется

В отличие от обычного фотодиода, инжекционный фотодиод

1. эксплуатируется только при прямом включении
2. может работать только при обратной полярности приложенного напряжения
3. обладает существенно меньшей чувствительностью

Изменение показателя преломления кристалла при проявлении эффекта Поккельса пропорционально ( $E$  – напряженность электрического поля)

1.  $E$
2.  $(E)^2$
3.  $(E)^{1/2}$

Изменение показателя преломления ячейки Керра пропорционально ( $E$  – напряженность электрического поля)

1.  $E$
2.  $(E)^2$
3.  $\ln(E)$

Анализатор электрооптического модулятора служит для

1. изменения фазы лазерного излучения
2. преобразования изменения фазы излучения в изменение интенсивности
3. изменения длины волны лазерного излучения

Числовая апертура световода определяет

1. величину потерь мощности излучения на единице длины
2. количество максимумов на спектральной характеристике
3. максимальный угол, при котором возможен ввод излучения в световод

### 5.3. Фонд оценочных материалов

Полный перечень оценочных материалов представлен в приложении 1.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 6.1. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование помещения	Перечень основного оборудования
------------------------	---------------------------------

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации.
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.
Учебная лаборатория микроэлектроники и наноэлектроники	Четыре зонда, нагреватель, вольтметр, стабилизатор тока, амперметр, полупроводниковый материал, установка для измерения ЭДС Холла, батарея, миллиамперметр, вольтметр, делитель напряжения, ключ, переключатель, полупроводниковый образец, электростатический вольтметр, токовые электроды, измерительные зонды, источник напряжения, измеритель тока, туннельный диод, выпрямительный диод

## 6.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1. Microsoft Windows. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.
2. Microsoft Office. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.

## 6.3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 6.3.1. Основная литература

1. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 480 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167787>
2. Евстифеев В. В. Физические основы электричества и магнетизма [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Пенза: ПГУ, 2019. - 416 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/162284>
3. Физические основы микро - и наноэлектроники: Методические указания [Электронный ресурс]:. - Москва: РТУ МИРЭА, 2020. - 71 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/163885>
4. Прилипко В. К., Коваленко И. И. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита [Электронный ресурс]: монография. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 216 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/111888>
5. Раевский Г. П., Попова Т. А., Черноверская В. В., Васильев Е. В. Физические основы микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс]: Методические указания по выполнению лабораторных работ. - М.: РТУ МИРЭА, 2020. - – Режим доступа: <https://library.mirea.ru/secret/04122020/2432.iso>

## 6.4. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ СОВРЕМЕННЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Естественно-научный образовательный портал <http://www.en.edu.ru>
2. Wolfram: вычисления и знания, рука к руке <http://www.wolfram.com>
3. Информационный портал Российского научного фонда <http://www.rscf.ru>
4. Российский фонд фундаментальных исследований <https://www.rfbr.ru>
5. Информационный портал «Популярные нанотехнологии» <http://www.popnano.ru>
6. Нанометр — нанотехнологическое сообщество <http://www.nanometer.ru>
7. Электроника НТБ - научно-технический журнал

<http://www.electronics.ru>



8. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

### **6.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Самостоятельная работа студента направлена на подготовку к учебным занятиям и на развитие знаний, умений и навыков, предусмотренных программой дисциплины.

В соответствии с учебным планом дисциплина может предусматривать лекции, практические занятия и лабораторные работы, а также выполнение и защиту курсового проекта (работы). Успешное изучение дисциплины требует посещения всех видов занятий, выполнение заданий преподавателя и ознакомления с основной и дополнительной литературой. В зависимости от мероприятий, предусмотренных учебным планом и разделом 4, данной программы, студент выбирает методические указания для самостоятельной работы из приведенных ниже.

При подготовке к лекционным занятиям студентам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо: приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию; до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия; в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения; в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного решения задач или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изученную на занятии.

Методические указания необходимые для изучения и прохождения дисциплины приведены в составе образовательной программы.

### **6.6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБУЧЕНИЮ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ**

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. N АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные

методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производится с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Медиа материалы также следует использовать и адаптировать с учетом индивидуальных особенностей обучения лиц с ОВЗ.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);

- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);

- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);

- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);

- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

