

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УР

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Владелец: Семенов Павел Васильевич

Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МИКРО-, НАНО- И  
ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ**

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**

Направление подготовки / специальность: **11.04.01 Радиотехника**

Направленность (профиль) / специализация: **Радиотехнические системы**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **Передовая инженерная школа «Электронное приборостроение и системы связи»  
(ПИШ)**

Кафедра: **передовая инженерная школа (ПИШ)**

Курс: **1**

Семестр: **2**

Учебный план набора 2023 года (индивидуальный учебный план, гр. 913-М-инд3)

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

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

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Зачет с оценкой	2

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Изучение общих принципов кристаллографии полупроводников, статистики электронов и дырок, контактных и кинетических явлениях, физических механизмах токопереноса.

2. Формирование у студентов знания основ конструкций полупроводниковых приборов, технологических операций создания приборов твердотельной СВЧ электроники, моделирования гетеро-эпитаксиальных структур и приборов на их основе.

3. Выработка способности воспринимать математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания, умения самостоятельно приобретать, развивать и применять их для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.

4. Формирование способности анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.

5. Развитие умения разрабатывать схемы и топологии тестовых структур и СВЧ МИС, а также конструкторскую документацию для их производства.

6. Формирование навыка владения методиками испытаний, контроля и отбраковки СВЧ МИС.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение основ кристаллографии полупроводников.

2. Изучение статистики электронов и дырок.

3. Изучение контактных и кинетических явлений в полупроводниках.

4. Изучение физических механизмов токопереноса.

5. Изучение основных конструкций полупроводниковых приборов.

6. Изучение основных технологических nanoопераций создания приборов твердотельной СВЧ электроники.

7. Освоение моделирования гетероэпитаксиальных структур и приборов на их основе.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Индекс дисциплины: Б1.В.1.01.ДВ.01.08.

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
<b>Универсальные компетенции</b>		
-	-	-
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
-	-	-
<b>Профессиональные компетенции</b>		

ПК-2. Способен использовать современные достижения науки и передовые технологии в профессиональной деятельности	ПК-2.1. Знает современные подходы к исследованию и разработке объектов профессиональной деятельности	Знает основы физических явлений в полупроводниках, металлах и гетероструктурах, информацию о современных физических моделях функционирования приборов на их основе, основные принципы проведения экспериментальных исследований в области микро-, нано- и оптоэлектроники
	ПК-2.2. Умеет проводить исследования и разработку с использованием современных достижений науки и передовых технологий при решении задач профессиональной деятельности.	Умеет применять эффективную методику, а также современные методы и средства измерения и расчета параметров приборов на основе микро-, нано- и оптоэлектроники
	ПК-2.3. Владеет современными технологиями проектирования объектов профессиональной деятельности	Владеет навыками исследования характеристик и параметров электронных приборов, средств и технологических процессов в области микро-, нано- и оптоэлектроники

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 академических часов.

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

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		2 семестр
<b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	36	36
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	18	18
<b>Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	36	36
Подготовка к зачету с оценкой	18	18
Подготовка к тестированию	18	18
<b>Общая трудоемкость (в часах)</b>	72	72
<b>Общая трудоемкость (в з.е.)</b>	2	2

#### 5. Структура и содержание дисциплины

##### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

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

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции

2 семестр					
1 Зонные характеристики гетероструктур	6	12	12	30	ПК-2
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники. Технология изготовления приборов твердотельной электроники	6	-	12	18	ПК-2
3 Физические и технологические основы оптоэлектроники. Элементы зонной теории твердых тел. Взаимодействие оптического излучения с веществом. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых приборах	6	6	12	24	ПК-2
Итого за семестр	18	18	36	72	
Итого	18	18	36	72	

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

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

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
2 семестр			
1 Зонные характеристики гетероструктур	Понимание зонной теории кристаллических полупроводников. Контактные явления в полупроводниках. Понимание принципов формирования и функционирования гетеропереходов и гетероэпитаксиальными структурами. Владение методами расчёта гетероэпитаксиальных структур	6	ПК-2
	Итого	6	
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники. Технология изготовления приборов твердотельной электроники	Представление о технологических аспектах основной конструкции FET, НЕМТ, рНЕМТ и mНЕМТ. Способность применять электрофизические и математические модели НЕМТ. Владение методами расчета приборных характеристик НЕМТ, малосигнальная модель. 4. Знание особенностей основных технологических процессов нанолитографии. Владение физико-математическими моделями процессов нанолитографии. Владение алгоритмами и методами моделирования физических процессов нанолитографии	6	ПК-2
	Итого	6	

3 Физические и технологические основы оптоэлектроники. Элементы зонной теории твердых тел. Взаимодействие оптического излучения с веществом. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых приборах	Электропроводность кристаллов и попытки её объяснения классической электронной теорией. Зонная структура, образование зон из атомных уровней. Модель Зоммерфельда и модель Блоха. Понятие зоны проводимости, запрещённой зоны и валентной зоны, их связь с представлениями о строении кристаллических тел. Понятие квазиимпульса электрона. Плотность состояний, концентрации носителей в зонах. Энергетическое представление о токопротекании в твердом теле. Основные параметры и характеристики взаимодействия излучения с веществом: коэффициенты поглощения и отражения, спектры поглощения и отражения. Закон Бугера - Ламберта. Параметры и характеристики, описывающие взаимодействие света и твердого тела. Типы механизмов поглощения излучения. Понятие скорости генерации и скорости рекомбинации носителей заряда	6	ПК-2
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>2 семестр</b>			
1 Зонные характеристики гетероструктур	Расщепление энергетических уровней и возникновение зон при образовании кристаллической решетки. Деление твердых тел на металлы, полупроводники и изоляторы. Динамика электронов в кристаллической решетке. Эффективная масса электрона.	12	ПК-2
	Итого	12	

3 Физические и технологические основы оптоэлектроники. Элементы зонной теории твердых тел. Взаимодействие оптического излучения с веществом. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых приборах	Контактные явления	6	ПК-2
	Итого	6	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

#### 5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

#### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

#### 5.6. Самостоятельная работа

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

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
<b>2 семестр</b>				
1 Зонные характеристики гетероструктур	Подготовка к зачету с оценкой	6	ПК-2	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	6	ПК-2	Тестирование
	Итого	12		
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники. Технология изготовления приборов твердотельной электроники	Подготовка к зачету с оценкой	6	ПК-2	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	6	ПК-2	Тестирование
	Итого	12		
3 Физические и технологические основы оптоэлектроники. Элементы зонной теории твердых тел. Взаимодействие оптического излучения с веществом. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых приборах	Подготовка к зачету с оценкой	6	ПК-2	Зачёт с оценкой
	Подготовка к тестированию	6	ПК-2	Тестирование
	Итого	12		
Итого за семестр		36		
Итого		36		

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

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

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

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности			Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Сам. раб.	
ПК-2	+	+	+	Зачёт с оценкой, Тестирование

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
<b>2 семестр</b>				
Зачёт с оценкой	10	20	40	70
Тестирование	10	10	10	30
Итого максимум за период	20	30	50	100
Нарастающим итогом	20	50	100	100

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

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

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

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

### 6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	А (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	В (очень хорошо)
	75 – 84	С (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	E (посредственно)
	60 – 64	
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

## 7.1. Основная литература

1. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 624 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>.

## 7.2. Дополнительная литература

1. Физические основы оптоэлектроники: Учебное пособие / В. Н. Давыдов - 2016. 139 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5963>.

2. Пул, Чарлз. Нанотехнологии [Текст] : учебное пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; ред. пер. Ю. И. Головин, дополнение В. В. Лучинин. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 336 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 19 экз.).

## 7.3. Учебно-методические пособия

### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы твердотельной электроники: Учебно-методическое пособие / Ю. Г. Юшков, Ю. А. Бурачевский, А. С. Климов, А. В. Медовник - 2019. 152 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9026>.

2. Организация самостоятельной работы: Учебно-методическое пособие / Д. О. Ноздреватых, Б. Ф. Ноздреватых - 2018. 23 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7867>.

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

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

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

## 7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

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

## 8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

### 8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

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

### 8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебно-научная лаборатория микроволновых устройств и антенн: учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для



проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 225/2 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

Источник питания постоянного тока DP831A.Rigol 16 шт.

Панель интерактивная LMP7502ELN Lumien 75EL

Монитор 27" 20 шт.

Монитор MSI 27" Pro MP271 12 шт.

Системный блок 1 8 шт.

Системный блок 2 8 шт.

- Комплект специализированной учебной мебели;

- Рабочее место преподавателя.

### **8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

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

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;

- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;

- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;

- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;

- компьютеры;

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

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;

- OpenOffice;

- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;

- 7-Zip;

- Google Chrome.

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

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

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

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

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

## **9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### **9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной

компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Зонные характеристики гетероструктур	ПК-2	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Электрофизические параметры приборов твердотельной электроники. Технология изготовления приборов твердотельной электроники	ПК-2	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
3 Физические и технологические основы оптоэлектроники. Элементы зонной теории твердых тел. Взаимодействие оптического излучения с веществом. Фотозлектрические явления в полупроводниковых приборах	ПК-2	Зачёт с оценкой	Перечень вопросов для зачета с оценкой
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

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

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.  
Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне <b>ориентирования</b> , 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 <b>репродуктивном</b> уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> 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 <b>системном</b> уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Трансляционная симметрия это
  - а) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы не изменяются при сдвиге на определённый вектор, который называется вектором трансляции.
  - б) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы не изменяются при повороте на определённый угол.
  - в) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы не изменяются при сдвиге на любой вектор, который называется вектором сдвига.
  - г) тип симметрии, при которой свойства рассматриваемой системы изменяются при сдвиге на определённый вектор, который называется вектором трансляции.
2. Решеткой Браве называют
  - а) параллелепипед, построенный на основных векторах трансляции.
  - б) параллелепипед, построенный на трех любых векторах трансляции.
  - в) трансляционную группу, ограниченной кристаллической решётки.
  - г) набор элементарных трансляций или трансляционную группу, которыми может быть получена вся бесконечная кристаллическая решётка
3. Элементарная ячейка решётки Браве
  - а) параллелепипед, построенный на трех любых векторах трансляции.
  - б) параллелепипед, построенный на основных векторах трансляции.
  - в) набор элементарных трансляций или трансляционную группу, которыми может быть получена вся бесконечная кристаллическая решётка.
  - г) трансляционная группа, ограниченной кристаллической решётки.
4. Индексы Миллера
  - а) характеризуют вектор определяемый координатами пересечения атомных плоскостей с осями координат.
  - б) характеризуют вектор построенный на любых векторах трансляции.
  - в) кристаллографические индексы  $(h,k,l)$ , характеризующие расположение атомных плоскостей в кристалле.
  - г) характеризуют ориентацию кристалла.

5. Какая статистика используется для описания электронов и дырок в полупроводнике?
  - а) классическая.
  - б) Максвелла-Больцмана.
  - в) Бозе-Эйнштейна.
  - г) Ферми-Ирака.
6. Чему равна концентрация равновесных носителей электрического заряда в собственном невырожденном полупроводнике?
  - а)  $n_i = p_0 = n_0$ .
  - б)  $N_d + N_a$ .
  - в)  $N_d + n + N_a + p$ .
  - г)  $n_0 + p_0$ .
7. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
  - а) вблизи дна зоны проводимости.
  - б) в середине запрещенной зоны.
  - в) вблизи потолка валентной зоны.
  - г) вне зоны проводимости.
8. Положение уровня Ферми в полупроводнике электронного типа проводимости.
  - а) вблизи дна зоны проводимости.
  - б) в середине запрещенной зоны.
  - в) вблизи потолка валентной зоны.
  - г) вне зоны проводимости.
9. Положение уровня Ферми в полупроводнике дырочного типа проводимости.
  - а) вблизи дна зоны проводимости.
  - б) в середине запрещенной зоны.
  - в) вблизи потолка валентной зоны.
  - г) вне зоны проводимости.
10. Электрофизические характеристики p-n -перехода:
  - а) высота барьера  $\phi_{ib}$ .
  - б) протяженность области пространственного заряда (ОПЗ)  $W$ .
  - в) электрический заряд ОПЗ  $Q$ .
  - г) резкость p-n -перехода.
  - д) все вышеперечисленное.

### 9.1.2. Перечень вопросов для зачета с оценкой

1. Трансляционная симметрия.
2. Решетки Браве.
3. Индексы Миллера.
4. Энергетический спектр электронов в изолированном атоме.
5. Энергетический спектр электронов в кристалле.
6. Функция Блоха.
7. Эффективная масса носителей электрического заряда в кристаллических полупроводниках.
8. Плотность квантовых состояний.
9. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана.
10. Концентрация равновесных носителей электрического 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 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:**

- 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.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПИШ  
протокол № 7 от « 4 » 6 2024 г.

### СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПИШ	А.Г. Лоцилов	Согласовано, 55af61de-b8ed-4780- 9ba6-8adedc18f4ec
Заведующий обеспечивающей каф. ПИШ	А.Г. Лоцилов	Согласовано, 55af61de-b8ed-4780- 9ba6-8adedc18f4ec
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972- a7c6-ab6ee1f21e73

### ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	А.В. Фатеев	Согласовано, 595be322-a579-4ae5- 8d93-e5f4ee9ceb7d
Заместитель директора по образованию, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	Ю.В. Шульгина	Согласовано, ea49db22-c3de-481e- 88a5-479145e4aa44

### РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	И.В. Кулинич	Разработано, d2a0f42b-ed8d-43b9- 8776-2e1f79c72b0a
--	--------------	--