



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

  
УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИИиС  
И.Ю. Мелин  
17.02.2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Направление подготовки (специальность)  
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль/специализация) программы  
Программирование и электроника информационных систем

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/факультет	Институт естественных и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	2
Семестр	4

Магнитогорск  
2020 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанотехнологии (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
06.02.2020, протокол № 5

Зав. кафедрой  М.В. Аркулов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИФЭИС  
17.02.2020 г. протокол № 6

Председатель  И.Ю. Мезин

Согласовано:  
Зав. кафедрой Электроники и микротехники

 С.И. Лукьянов

Рабочая программа составлена:  
директор кафедры Физики,  
канд. физ.-мат. наук

 Г.А. Дубский

Рецензент:  
зав. кафедрой ВТНЦ, д-р техн. наук

 О.С. Лагунова

## Лист актуализации рабочей программы

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Цель изучения дисциплины - формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел, в первую очередь – полупроводников, при создании элементов, приборов и устройств микро и нанoeлектроники.

Задачами курса служат расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных результатов физики твердого тела и способов практического использования свойств твердых тел, развитие понимания взаимосвязи структуры и состава твердых тел, и многообразия их физических свойств, практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями твердого тела, навыками постановки физического эксперимента по изучению свойств твердых тел и основными экспериментальными методиками, создание основы для последующего изучения вопросов физики полупроводниковых приборов, включая элементы и приборы нанoeлектроники, физики низкоразмерных систем, твердотельной электроники и технологии микро- и нанoeлектроники.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Физика конденсированного состояния входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Материалы и элементы электронной техники

Физика

Физические основы электроники

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Материалы и элементы электронной техники

Теоретические основы электротехники

Магнитные элементы электронных устройств

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

Технологические датчики

Основы проектирования электронной компонентной базы

Нанoeлектроника

Элементы цифровой техники

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Физика конденсированного состояния» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-1	Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы электронных систем и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием принимаемых решений
ПК-1.1	Разрабатывает эскизный проект, включающий: выбор структурной схемы электронного устройства или системы путем сопоставления различных вариантов и их оценки с точки зрения технических и экономических требований; рассчитывает все необходимые

	показатели структурной схемы электронного устройства или системы, в том числе показатели качества; выбирает и обосновывает схемы вспомогательных устройств
ПК-1.2	Производит технико-экономическое обоснование принятого решения с расчетами себестоимости устройства и стоимости его эксплуатации; сравнивает с аналогами по технико-экономическим характеристикам

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 34,95 акад. часов;
- аудиторная – 34 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,95 акад. часов
- самостоятельная работа – 73,05 акад. часов;

Форма аттестации - зачет с оценкой

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Типы конденсированных сред, симметрия и структура кристаллов								
1.1 Основные характеристики и свойства кристаллических, неупорядоченных и аморфных твердых тел и жидких кристаллов. Определение структуры простейших решеток по данным рентгеноструктурного анализа. Методы описания и механизмы взаимодействия электрического и электромагнитного поля с решеткой. Динамика решетки, фононы.	4	2		2	10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		2		2	10			
2. Свободный электронный газ в полупроводниках и металлах.								
2.1 Расчеты кинетических характеристик твердых тел в приближении свободного электронного газа.	4	2		2	10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		2		2	10			
3. Зонная теория и ее приложения.								

3.1 Основные приближения зонной теории, свойства блоховского электрона, и особенности энергетического спектра электрона в кристалле, понятие эффективной массы. Классификация твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Особенности зонной структуры основных полупроводников, параметры зонной структуры, определяющие возможность и эффективность использования данного полупроводника для конкретных практических приложений. Типы и роль примесей в полупроводниках. Статистика равновесных носителей заряда. Методы описания мелких и глубоких примесных состояний, методы расчета положения уровня Ферми в полупроводнике, особенности температурной зависимости концентрации носителей заряда, основные эффекты, проявляющиеся при высоком уровне легирования.	4	4		4	10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		4		4	10			
4. Неравновесные носители заряда								
4.1 Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.	4	2		2	10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		2		2	10			
5. Магнетики, сверхпроводники.								

5.1 Физическая природа магнетизма, основные типы магнетиков. Свойства и основные типы сверхпроводников, макро- и микроскопические модели сверхпроводимости.	4	2		2	10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		2		2	10			
6. Поверхность и контактные явления.								
6.1 Контактные явления в металлах и полупроводниках	4	2		2	10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		2		2	10			
7. Основные экспериментальные методы изучения структуры, электрических и магнитных свойств твердых тел.								
7.1 Методы экспериментального определения электропроводности и концентрации носителей заряда в твердом теле, ширины запрещенной зоны, концентрации, подвижности, времени жизни, коэффициента диффузии носителей заряда в полупроводнике.	4	3		3	13,05	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	
Итого по разделу		3		3	13,05			
Итого за семестр		17		17	73,05		зао	
Итого по дисциплине		17		17	73,05		зачет с оценкой	

## 5 Образовательные технологии

При реализации различных видов учебной работы наиболее эффективные результаты освоения дисциплины дают традиционные образовательные технологии, технологии проблемного обучения, интерактивные технологии, информационно-коммуникационные образовательные технологии.

1. Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер.

Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция - последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Семинар – беседа преподавателя и студентов, обсуждение заранее подготовленных сообщений по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

2. Технологии проблемного обучения – организация образовательного процесса, которая предполагает постановку проблемных вопросов, создание учебных проблемных ситуаций для стимулирования активной познавательной деятельности студентов.

Формы учебных занятий с использованием технологий проблемного обучения:

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, авторские комментарии, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала.

Лабораторно-практическое занятие в форме практикума – организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

3. Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий. Интерактивность подразумевает субъект-субъектные отношения в ходе образовательного процесса и, как следствие, формирование саморазвивающейся информационно-ресурсной среды.

Формы учебных занятий с использованием специализированных интерактивных технологий:

1. Лекция «обратной связи» – лекция–провокация (изложение материала с заранее за-планированными ошибками), лекция-беседа, лекция-дискуссия.

2. Семинар-дискуссия – коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе (межгрупповой диалог, дискуссия как спор-диалог).

4. Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных

технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Семинарское занятие в форме презентации – представление результатов проектной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных сред.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Дубский Г.А., Нефедьев А.А., Долгушин Д.М., Долгушина О.В., Мавринский В.В. Физика твердого тела [электронный ресурс]: учебное пособие - Магнитогорск: ФГБОУ ВО МГТУ им. Г.И.Носова, 2019.

2. Молекулярная физика. Термодинамика. Конденсированные состояния : учебное пособие / Ш. А. Пиралишвили, Е. В. Шалагина, Н. А. Каляева, Е. А. Попкова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-2431-3. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — [URL: https://e.lanbook.com/book/91292](https://e.lanbook.com/book/91292).

3. Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-2379-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — [URL: https://e.lanbook.com/book/90003](https://e.lanbook.com/book/90003).

### **б) Дополнительная литература:**

1. Корабельников, Д. В. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Д. В. Корабельников. — Кемерово : КемГУ, 2017. — 149 с. — ISBN 978-5-8353-2160-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — [URL: https://e.lanbook.com/book/103097](https://e.lanbook.com/book/103097).

2. Филимонова, Н. И. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Р. П. Дикарева. — Новосибирск : НГТУ, 2016. — 136 с. — ISBN 978-5-7782-2960-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — [URL: https://e.lanbook.com/book/118444](https://e.lanbook.com/book/118444).

3. Дубский Г.А., Дубская Т.Я., Бутаков С.А. Основы физики твердого тела: задачи и упражнения: учебное пособие. - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. - 150 с.

### **в) Методические указания:**

1. Дубский Г.А. Физика конденсированного состояния вещества: лабораторный практикум / Г.А. Дубский, А.А. Нефедьев, Т.Я. Дубская - Магнитогорск: из-во Магнитогорского гос.техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. - 155 с.

### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<https://e.lanbook.com/book/91292> 1. Молекулярная физика. Термодинамика. Конденсированные состояния : учебное пособие / Ш. А. Пиралишвили, Е. В. Шалагина, Н. А. Каляева, Е. А. Попкова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 200 с.

<https://e.lanbook.com/book/90003> Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 272 с.

### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных научных изданий «Web of science»	<a href="http://webofscience.com">http://webofscience.com</a>
Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий «Scopus»	<a href="http://scopus.com">http://scopus.com</a>

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа

Оснащение аудитории:

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

2. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

Оснащение:

Интерактивная доска, проектор;

Мультимедийный проектор, экран

3. Учебные аудитории для выполнения курсового проектирования, помещения для самостоятельной работы.

Оснащение:

Персональные компьютеры с пакетом MS Office, с выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

4. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования

Оснащение:

Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования. Инструменты для ремонта оборудования

## Приложение 1.

### Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

При изучении дисциплины осуществляются текущий, промежуточный и итоговый контроль по дисциплине.

**Текущий контроль** основан на беглом опросе раз в неделю. Формы: тестовые оценки за выполнение индивидуальных заданий. Основная цель ТК: своевременная оценка успеваемости студентов, побуждающая их работать равномерно, исключая малые загрузки или перегрузки в течение семестра.

Практические занятия следует проводить в аудитории с мультимедийным оборудованием, при этом и коллоквиумы, и защита результатов исследований проводятся по традиционной методике в классе.

**Промежуточный контроль** – осуществляется в форме коллоквиумов. Цель ПК: побудить студентов отчитаться за усвоение разделов дисциплины накопительным образом, т.е. сначала за первые, затем за следующие разделы, изучаемые в семестре.

**Итоговый контроль** по дисциплине - это проверка уровня учебных достижений студентов по всей дисциплине за семестр. Форма контроля: зачет с оценкой в конце семестра. Проводится традиционным способом. Цель итогового контроля: проверка знаний дисциплины, полученных при изучении разделов, достаточных для последующего обучения.

### Темы практических занятий.

#### Практическое занятие 1.

Исследование явлений термоэлектронной эмиссии (ТЭЭ) и определение работы выхода методом прямой Ричардсона.

#### Практическое занятие 2.

Исследование зависимости электропроводности металла и полупроводника от температуры.

#### Практическое занятие 3.

Температурное исследование р-п- перехода полупроводникового диода. Определение контактной разности потенциалов.

#### Практическое занятие 4.

Определение концентрации и знака заряда носителей, и знака заряда носителей тока в полупроводниках с помощью эффекта Холла.

#### Практическое занятие 5.

Исследование диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика.

#### Практическое занятие 6.

Измерение удельного заряда электрона (отношение заряда электрона к его массе).

#### Практическое занятие 7.

Изучение электронно-лучевого осциллографа измерение параметров электрических сигналов.

#### Практическое занятие 8.

Измерение температуры, лучеиспускательной способности и степени черноты раскаленных металлов.

#### Практическое занятие 9.

Исследование теплофизических характеристик твердых тел методом периодических колебаний температуры.

## Приложение 2.

### Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-1:	Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы электронных систем, и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием принимаемых решений	
ПК-1.1	Разрабатывает эскизный проект, включающий: выбор структурной схемы электронного устройства или системы путем сопоставления различных вариантов и их оценки с точки зрения технических и экономических требований; рассчитывает все необходимые показатели структурной схемы электронного устройства или системы, в том числе показатели качества; выбирает и обосновывает схемы вспомогательных устройств	<p><b>Перечень теоретических вопросов</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Типы связей в кристаллах: силы Ван-дер-Ваальса, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.</li> <li>2 Решетки Браве: 7 сингоний, 3 кубических решетки.</li> <li>3 Обозначение узлов, направлений и плоскостей (индексы Миллера) в кристалле.</li> <li>4 Дефекты в кристалле: Френкеля и Шоттки.</li> <li>5. Микрочастицы: фермионы и бозоны. Функция распределения. Плотность состояний для электронов в кристалле.</li> <li>6 Функция распределения Ферми-Дирака. Физический смысл энергии Ферми для металла.</li> <li>7 Функция распределения Максвелла-Больцмана.</li> <li>8 Функция распределения Бозе-Эйнштейна.</li> <li>9 Собственные полупроводники: зонная диаграмма, энергия Ферми <math>E_F</math>, равновесная концентрация носителей заряда <math>n_0</math>. Закон действующих масс.</li> <li>10 Дырки в полупроводниках. Эффективная масса.</li> <li>11 Прямозонные и непрямозонные полупроводники.</li> <li>12 Донорные полупроводники (n-тип): зонная диаграмма.</li> <li>13 Акцепторные полупроводники (p-тип): зонная диаграмма.</li> <li>14 Температурная зависимость концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике.</li> <li>15 Дрейф носителей заряда. Подвижность. Время релаксации. Длина свободного пробега.</li> <li>16 Удельная электропроводность. Электропроводность чистых металлов.</li> <li>17 Собственная проводимость полупроводников.</li> <li>18 Примесная проводимость полупроводников.</li> <li>19 Работа выхода. Контакт двух металлов.</li> <li>20 Контакт металла с полупроводником: зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; вольт-амперная характеристика.</li> <li>21 Контакт двух полупроводников (p-n-переход): зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области;</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>вольт-амперная характеристика.</p> <p>22 Нормальные колебания линейной кристаллической решетки из одинаковых атомов: дисперсионная зависимость.</p> <p>23 Нормальные колебания линейной кристаллической решетки с базисом из двух атомов: дисперсионная зависимость.</p> <p>24 Функция распределения Нормальных колебаний. Характеристическая частота и температура Дебая.</p> <p>25 Фононы. Энергия кристаллической решетки твердого тела. Теплоемкость твердого тела.</p>
ПК 1.2	Производит технико-экономическое обоснование принятого решения с расчетами себестоимости устройства и стоимости его эксплуатации; сравнивает с аналогами по технико-экономическим характеристикам	<b>Задания на решение задач из профессиональной области, комплексные задания</b>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>Вычислить концентрации электронов <math>n</math> в литии, меди и серебре при температуре <math>T=0</math> К. Энергии Ферми металлов равны: <math>E_F(Li)=4,72</math> эВ, <math>E_F(Cu)=7,11</math> эВ, <math>E_F(Ag)=5,49</math> эВ.</p> <p>Определить энергию Ферми в германиевом собственном полупроводнике при температуре <math>T=300</math> К. Ширина запрещенной зоны <math>E_g=0,67</math> эВ. Эффективная масса электронов <math>m_e^*=0,56m_e</math> и эффективная масса дырок <math>m_h^*=0,59m_e</math> (<math>m_e</math> – масса свободного электрона).</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре <math>T=20</math> К. Германий легирован акцепторной примесью In с концентрацией <math>N_a=10^{23}</math> м<sup>-3</sup>. Ширина запрещенной зоны при этой температуре равна <math>E_g=0,75</math> эВ. Энергия активации <math>E_a=0,011</math> эВ.</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре <math>T=20</math> К. Германий легирован донорной примесью Sb с концентрацией <math>N_d=10^{23}</math> м<sup>-3</sup>. Ширина запрещенной зоны при этой температуре равна <math>E_g=0,75</math> эВ.</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре <math>T=20</math> К. Германий легирован донорной примесью As с концентрацией <math>N_d=10^{23}</math> м<sup>-3</sup> и акцепторной примесью Ga с концентрацией <math>N_a=5 \cdot 10^{22}</math> м<sup>-3</sup>.</p> <p>Вычислить среднюю дрейфовую скорость движения электронов <math>v_{др}</math> в медном проводнике длиной <math>l=1</math> м, если к нему приложена разность потенциалов <math>U=10</math> В. Удельное сопротивление меди <math>\rho = 1,6 \cdot 10^{-8}</math> Ом·м. Концентрация носителей заряда <math>n_e=10^{28}</math> м<sup>-3</sup>.</p> <p>Вычислить длину свободного пробега электронов в полупроводнике в сильном электрическом поле. Критическая напряженность поля <math>E_k=2 \cdot 10^4</math> В/см. Температура 20 °С.</p> <p>Электропроводность натрия равна <math>\sigma=2,17 \cdot 10^7</math> Ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup>. Эффективная масса электрона <math>m^*=1,2m_e</math>. Вычислить: а) время релаксации <math>\tau</math> при <math>T=300</math> К; б) среднюю длину свободного пробега <math>\lambda</math> при <math>T=300</math> К; в) дрейфовую скорость <math>v_{др}</math> в поле <math>E=100</math> В/м.</p> <p><b>Практические задания</b></p> <p>1 Плоскость отсекает на осях координат отрезки <math>S_1=0,5</math>, <math>S_2=1,25</math>, <math>S_3=1,5</math> в единицах ребер элементарной ячейки. Определить индексы Миллера этой плоскости.</p> <p>2 Найти индексы Миллера плоскости, проходящей через узловыe точки кристаллической решетки с координатами <math>x_1=9</math>, <math>x_2=10</math>, <math>x_3=30</math>, если параметры решетки <math>a=3</math>, <math>b=5</math>, <math>c=6</math>.</p> <p>3 Рассчитать с помощью индексов Миллера расстояния между соседними кристаллическими</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>плоскостями (100), (110), (111) для примитивной кубической ячейки.</p> <p>4 Пусть <math>a</math> – длина ребра основного куба гранцентрированной кубической решетки. Каково расстояние <math>a_0</math> между ближайшими атомами в ГЦК-решетке?</p> <p>5 Пусть <math>a</math> – длина ребра основного куба объемцентрированной кубической решетки. Каково расстояние <math>a_0</math> между ближайшими атомами в ОЦК-решетке?</p> <p>6 Определить число атомов <math>n_0</math> в элементарной ячейке железа, кристаллизующегося в кубической системе. Ребро куба <math>a=0,286</math> нм, атомный вес железа <math>A=55,84</math> г/моль, плотность <math>\rho=7,8 \cdot 10^3</math> кг/м<sup>3</sup>.</p>

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета с оценкой.

### **Показатели и критерии оценивания:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.