



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЕиС
И.Ю. Мезин

17.02.2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Направление подготовки (специальность)
03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность (профиль/специализация) программы
Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт естествознания и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	3
Семестр	5

Магнитогорск
2020 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ (уровень подготовки кадров высшей квалификации). (приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 867)

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

Зав. кафедрой _____ М.Б. Аркулис

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

Председатель _____ И.Ю. Мезин

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры Физики, канд. физ.-мат. наук _____ Г.А. Дубский

Рецензент:

зав. кафедрой ВТиП, д-р техн. наук _____ О.С. Логунова

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 вариативную часть учебного плана образовательной программы.

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

Физика конденсированного состояния вещества

Структуры и физические свойства конденсированного углерода и нанoуглерода

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

Методы обработки экспериментальных данных

Представление научного доклада об основных результатах подготовленной НКР

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

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:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способность свободно владеть фундаментальными и прикладными разделами физики и математики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач по физике конденсированного состояния, в том числе и по физике наноструктурных объектов.
Знать	основные направления, проблемы, теории и методы ФКС; перспективы развития исследований ФКС
Уметь	выделять и систематизировать основные идеи; критически оценивать существующие теории и методы; формировать и аргументировано отстаивать собственную позицию по различным проблемам в теории и практике ФКС.

Владеть	навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; приемами ведения дискуссии полемики; навыками публичной речи и письменного аргументированного изложения собственной точки зрения.
ПК-2 Способность владеть экспериментальными методами исследования и методами математического моделирования с использованием прикладных математических пакетов и программ.	
Знать	основные методы научно-исследовательского исследования ФКС
Уметь	выделять и анализировать особенности профессиональной деятельности в ФКС
Владеть	навыками сбора, обработки, анализа и систематизации данных при исследованиях ФКС

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 13 акад. часов;
- аудиторная – 13 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов
- самостоятельная работа – 59 акад. часов;

Форма аттестации - зачет

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								
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	5	2			5	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2			5			

2. Свободный электронный газ								
2.1	Расчеты кинетических характеристик твердых тел в приближении свободного электронного газа.	5	2		7	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу			2		7			
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	5	2		10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу			2		10			
4. Неравновесные носители заряда								

4.1 Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.	5	2			10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2			10			
5. Магнетики, сверхпроводники								
5.1 Физическая природа магнетизма, основные типы магнетиков. Свойства и основные типы сверхпроводников, макро- и микроскопические модели сверхпроводимости.	5	2			10	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2			10			
6. Поверхность и контактные явления								
6.1 Контактные явления в металлах и полупроводниках	5	1			5	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		1			5			
7. Основные экспериментальные методы изучения структуры, электрических свойств								
7.1 Методы экспериментального определения электропроводности и концентрации носителей заряда в твердом теле, ширины запрещенной зоны, концентрации, подвижности, времени жизни, коэффициента рекомбинации	5	2			12	1. Подготовка к практическому занятию 2. Выполнение практической работы 3. Самостоятельное изучение учебной и научной литературы	1. Беседа - обсуждение 2. Устный опрос.	ПК-1, ПК-2
Итого по разделу		2			12			
Итого за семестр		13			59		зачёт	
Итого по дисциплине		13			59		зачет	ПК-1, ПК-2

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).

практическое задание для самостоятельной работы, с выполняемое в лаборатории – 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.

Встреча с руководителем – беседа преподавателя и аспиранта, обсуждение заранее подготовленных сообщений по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы, 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 запланированными ошибками), лекция-беседа, лекция-дискуссия.

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

3. 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. Физика твердого тела : учебное пособие [для вузов] / Г. А. Дубский [и др.] ; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. - Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2019. - 1 CD-ROM. - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3822.pdf&show=dcatalogues/1/1530258/3822.pdf&view=true> (дата обращения: 23.10.2020). - Макрообъект. - ISBN 978-5-9967-1594-7. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.
2. 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> (дата обращения: 19.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. 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> (дата обращения: 19.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Дубский, Г. А. Физика конденсированного состояния вещества : лабораторный практикум / Г. А. Дубский, А. А. Нефедьев, Т. Я. Дубская. - [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2014 г.]. - Магнитогорск : МГТУ, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1445.pdf&show=dcatalogues/1/1123966/1445.pdf&view=true> (дата обращения: 23.10.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

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:

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: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных научных изданий «Web of science»	http://webofscience.com
Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий	http://scopus.com

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа

Оснащение аудиторий:

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

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа предусматривает:

– изучение теоретического материала. Данная работа способствует самостоятельному приобретению новых знаний, в том числе, с использованием современных информационных технологий;

– подготовка к текущему, промежуточному и итоговому контролю знаний. Данная деятельность способствует развитию умения организовать самостоятельную работу, профессионально систематизировать приобретенные знания;

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

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.

-подготовку к практическим занятиям следует проводить в аудитории с мультимедийным оборудованием, при этом и коллоквиумы, и защита результатов исследований проводятся по традиционной методике в классе.

Темы практических заданий для самостоятельной работы.

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

7. 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
<p>ПК-1 Способность свободно владеть фундаментальными и прикладными разделами физики и математики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач по физике конденсированного состояния, в том числе и по физике наноструктурных объектов.</p>		
<p>Знать</p>	<p>основные направления, проблемы, теории и методы ФКС; перспективы развития исследований ФКС</p>	<p>Перечень теоретических вопросов</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Типы связей в кристаллах: силы Ван-дер-Ваальса, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь. 2 Решетки Браве: 7 сингоний, 3 кубических решетки. 3 Обозначение узлов, направлений и плоскостей (индексы Миллера) в кристалле. 4 Дефекты в кристалле: Френкеля и Шоттки. 5. Микрочастицы: фермионы и бозоны. Функция распределения. Плотность состояний для электронов в кристалле. 6 Функция распределения Ферми-Дирака. Физический смысл энергии Ферми для металла. 7 Функция распределения Максвелла-Больцмана. 8 Функция распределения Бозе-Эйнштейна. 9 Собственные полупроводники: зонная диаграмма, энергия Ферми E_F, равновесная концентрация носителей заряда n_0. Закон действующих масс. 10 Дырки в полупроводниках. Эффективная масса. 11 Прямозонные и непрямозонные полупроводники. 12 Донорные полупроводники (n-тип): зонная диаграмма. 13 Акцепторные полупроводники (p-тип): зонная диаграмма. 14 Температурная зависимость концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике. 15 Дрейф носителей заряда. Подвижность. Время релаксации. Длина свободного пробега. 16 Удельная электропроводность. Электропроводность чистых

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>металлов.</p> <p>17 Собственная проводимость полупроводников.</p> <p>18 Примесная проводимость полупроводников.</p> <p>19 Работа выхода. Контакт двух металлов.</p> <p>20 Контакт металла с полупроводником: зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; вольт-амперная характеристика.</p> <p>21 Контакт двух полупроводников (р-п-переход): зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; 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>
Уметь	<p>выделять и систематизировать основные идеи; критически оценивать существующие теории и методы; формировать и аргументировано отстаивать собственную позицию по различным проблемам в теории и практике ФКС.</p>	<p><i>Задания на решение задач из профессиональной области, комплексные задания</i></p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>Вычислить концентрации электронов n в литии, температуре $T=0$ К. Энергии Ферми металлов равны: $E_F(Li)=4,7$ эВ, $E_F(Ag)=5,49$ эВ.</p> <p>Определить энергию Ферми в германиевом собственном полупроводнике при температуре $T=300$ К. Ширина запрещенной зоны $E_g=0,67$ эВ, эффективная масса электронов $m_e^*=0,56m_e$ и эффективная масса дырок $m_h^*=0,59m_e$ (m_e – масса электрона).</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре $T=20$ К с акцепторной примесью In с концентрацией $N_a=10^{23}$ м⁻³. Ширина запрещенной зоны этой температуре равна $E_g=0,75$ эВ. Энергия активации $E_a=0,011$ эВ.</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре $T=20$ К с донорной примесью Sb с концентрацией $N_d=10^{23}$ м⁻³. Ширина запрещенной зоны этой температуре равна $E_g=0,75$ эВ.</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре $T=20$ К с донорной примесью As с концентрацией $N_d=10^{23}$ м⁻³ и акцепторной примесью Zn с концентрацией $N_a=5 \cdot 10^{22}$ м⁻³.</p> <p>Вычислить среднюю дрейфовую скорость движения электронов в медном проводнике длиной $l=1$ м, если к нему приложена разность потенциалов $U=1$ В. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Концентрация электронов $n=8,5 \cdot 10^{28}$ м⁻³.</p> <p>Вычислить длину свободного пробега электронов в металле в сильном электрическом поле. Критическая напряженность электрического поля $E_{кр}=10^6$ В/м. Температура 20 °С.</p> <p>Электропроводность натрия равна $\sigma=2,17 \cdot 10^7$ Ом⁻¹·м. Эффективная масса электрона $m^*=1,2m_e$. Вычислить: а) время релаксации τ при $T=300$ К; б) длину свободного пробега λ при $T=300$ К; в) дрейфовую скорость $v_{др}$ в поле напряженности $E=10^4$ В/м.</p>
Владеть	<p>навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования;</p> <p>приемами ведения дискуссии</p> <p>полемики; навыками публичной речи и письменного аргументированного изложения собственной точки зрения.</p>	<p>Практические задания</p> <p>1 Плоскость отсекает на осях координат отрезки $S_1=0,5$, $S_2=1,25$, $S_3=1,5$ в единицах ребер элементарной ячейки. Определить индексы Миллера этой плоскости.</p> <p>2 Найти индексы Миллера плоскости, проходящей через узловые точки кристаллической решетки с координатами $x_1=9$, $x_2=10$, $x_3=30$, если параметры решетки $a=3$, $b=5$, $c=6$.</p> <p>3 Рассчитать с помощью индексов Миллера расстояния между соседними кристаллическими плоскостями (100), (110), (111) для примитивной кубической ячейки.</p> <p>4 Пусть a – длина ребра основного куба гранецентрированной кубической решетки. Каково расстояние a_0 между ближайшими</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>атомами в ГЦК-решетке?</p> <p>5 Пусть a – длина ребра основного куба объемцентрированной кубической решетки. Каково расстояние a_0 между ближайшими атомами в ОЦК-решетке?</p> <p>6 Определить число атомов n_0 в элементарной ячейке железа, кристаллизующегося в кубической системе. Ребро куба $a=0,286$ нм, атомный вес железа $A=55,84$ г/моль, плотность $\rho=7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.</p>
<p>ПК-2: Способность владеть экспериментальными методами исследования и методами математического моделирования с использованием прикладных математических пакетов и программ.</p>		
Знать	основные методы научно-исследовательского исследования ФКС	<p>Перечень теоретических вопросов</p> <p>1 Типы связей в кристаллах: силы Ван-дер-Ваальса, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.</p> <p>2 Решетки Браве: 7 сингоний, 3 кубических решетки.</p> <p>3 Обозначение узлов, направлений и плоскостей (индексы Миллера) в кристалле.</p> <p>4 Дефекты в кристалле: Френкеля и Шоттки.</p> <p>5. Микрочастицы: фермионы и бозоны. Функция распределения. Плотность состояний для электронов в кристалле.</p> <p>6 Функция распределения Ферми-Дирака. Физический смысл энергии Ферми для металла.</p> <p>7 Функция распределения Максвелла-Больцмана.</p> <p>8 Функция распределения Бозе-Эйнштейна.</p> <p>9 Собственные полупроводники: зонная диаграмма, энергия Ферми E_F, равновесная концентрация носителей заряда n_0. Закон действующих масс.</p> <p>10 Дырки в полупроводниках. Эффективная масса.</p> <p>11 Прямозонные и непрямозонные полупроводники.</p> <p>12 Донорные полупроводники (n-тип): зонная диаграмма.</p> <p>13 Акцепторные полупроводники (p-тип): зонная диаграмма.</p> <p>14 Температурная зависимость концентрации носителей заряда в</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>примесном полупроводнике.</p> <p>15 Дрейф носителей заряда. Подвижность. Время релаксации. Длина свободного пробега.</p> <p>16 Удельная электропроводность. Электропроводность чистых металлов.</p> <p>17 Собственная проводимость полупроводников.</p> <p>18 Примесная проводимость полупроводников.</p> <p>19 Работа выхода. Контакт двух металлов.</p> <p>20 Контакт металла с полупроводником: зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; вольт-амперная характеристика.</p> <p>21 Контакт двух полупроводников (р-п-переход): зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; 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>
Уметь	выделять и анализировать особенности профессиональной деятельности в ФКС	<i>Задания на решение задач из профессиональной области, комплексные задания</i>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>Вычислить концентрации электронов n в литии, температуре $T=0$ К. Энергии Ферми металлов равны: $E_F(Li)=4,7$ эВ, $E_F(Ag)=5,49$ эВ.</p> <p>Определить энергию Ферми в германиевом собственном полупроводнике при температуре $T=300$ К. Ширина запрещенной зоны $E_g=0,67$ эВ, эффективная масса электронов $m_e^*=0,56m_e$ и эффективная масса дырок $m_h^*=0,59m_e$ (масса электрона).</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, считанную от дна зоны проводимости, при температуре $T=20$ К с акцепторной примесью In с концентрацией $N_a=10^{23}$ м⁻³. Ширина запрещенной зоны при этой температуре равна $E_g=0,75$ эВ. Энергия активации $E_a=0,011$ эВ.</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, считанную от дна зоны проводимости, при температуре $T=20$ К с донорной примесью Sb с концентрацией $N_d=10^{23}$ м⁻³. Ширина запрещенной зоны при температуре равна $E_g=0,75$ эВ.</p> <p>Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, считанную от дна зоны проводимости, при температуре $T=20$ К с донорной примесью As с концентрацией $N_d=10^{23}$ м⁻³ и акцепторной примесью с концентрацией $N_a=5 \cdot 10^{22}$ м⁻³.</p> <p>Вычислить среднюю дрейфовую скорость движения электронов в медном проводнике длиной $l=1$ м, если к нему приложена разность потенциалов $U=1$ В. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Концентрация электронов $n=8,5 \cdot 10^{28}$ м⁻³.</p> <p>Вычислить длину свободного пробега электронов в металле в сильном электрическом поле. Критическая напряженность электрического поля $E_{кр}=10^6$ В/м. Температура 20 °С.</p> <p>Электропроводность натрия равна $\sigma=2,17 \cdot 10^7$ Ом⁻¹·м. Эффективная масса электрона $m^*=1,2m_e$. Вычислить: а) время релаксации τ при $T=300$ К; б) длину свободного пробега λ при $T=300$ К; в) дрейфовую скорость $v_{др}$ в поле напряженности $E=10^4$ В/м.</p>
Владеть	навыками сбора, обработки, анализа и систематизации данных при исследованиях ФКС	<p>Практические задания</p> <p>1 Плоскость отсекает на осях координат отрезки $S_1=0,5$, $S_2=1,25$, $S_3=1,5$ в единицах ребер элементарной ячейки. Определить индексы Миллера этой плоскости.</p> <p>2 Найти индексы Миллера плоскости, проходящей через узловые точки кристаллической решетки с координатами $x_1=9$, $x_2=10$, $x_3=30$, если параметры решетки $a=3$, $b=5$, $c=6$.</p> <p>3 Рассчитать с помощью индексов Миллера расстояния между соседними кристаллическими плоскостями (100), (110), (111) для примитивной кубической ячейки.</p> <p>4 Пусть a – длина ребра основного куба гранецентрированной кубической решетки. Каково расстояние a_0 между ближайшими</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>атомами в ГЦК-решетке?</p> <p>5 Пусть a – длина ребра основного куба объемцентрированной кубической решетки. Каково расстояние a_0 между ближайшими атомами в ОЦК-решетке?</p> <p>6 Определить число атомов n_0 в элементарной ячейке железа, кристаллизующегося в кубической системе. Ребро куба $a=0,286$ нм, атомный вес железа $A=55,84$ г/моль, плотность $\rho=7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.</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. Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме

Показатели и критерии оценивания:

- на оценку «*зачтено*» - обучающийся показывает усвоение основного содержания материала в объеме программы, в основном правильно дает определения и понятия, демонстрирует практические навыки по дисциплине;
- на оценку «*незачтено*» - обучающийся показывает усвоение основного содержания материала в объеме программы, в основном правильно дает определения и понятия, демонстрирует практические навыки по дисциплине.