

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра микро- и нанoeлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и
инженерной механики


Могильная Е.П.
«18» 04 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»

По направлению подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль «Электронные приборы и устройства»

Луганск – 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния» по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. – 26 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 года № 927.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко В.А.;

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники «14» 04 2023г., протокол № 9

Заведующий кафедрой

микро- и нанoeлектроники  Войтенко В. А.

Переутверждена: « » 202 г., протокол №

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики  С. Н. Ясуник

© Войтенко В.А., Войтенко Г.О., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель дисциплины – ознакомление студентов со структурой и основами современной физики конденсированного состояния, общими представлениями о строении и свойствах твердых тел и методах их исследования.

Задачи: ознакомление студентов с типами и характером межатомного взаимодействия при формировании структуры и свойств твердых тел; с основными фундаментальными принципами описания и исследования кристаллической структуры твердых тел разных типов; электронными, тепловыми, магнитными и другими свойствами твердых тел; видами дефектов структуры реальных твердых тел и их влиянием на физико-механические свойства твердых тел.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к условиям освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к циклу математических и естественнонаучных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания физики и математики на уровне требований при поступлении в высшее учебное заведение; умения проводить простые физико-математические расчеты.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин «Математика» и «Физика» и служит основой для освоения дисциплин «Физика полупроводников», «Физика диэлектриков», «Специальные разделы физики (физика электронных и полупроводниковых приборов)», «Физические основы сенсорики», «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии».

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их	ПК-1.1. Знает математическое описание физических процессов, протекающих в материалах, компонентах и приборах электроники. ПК-1.2. Умеет строить физические и математические модели приборов, узлов, блоков.	Знать: строение монокристаллов и поликристаллов, трансляции, набор операций симметрии, излучения, используемые в приборах, устройствах и установках электроники и нанoeлектроники, экспериментальные дифракционные методы и компьютерные программы

компьютерного моделирования	ПК-1.3. Владеет навыками компьютерного моделирования.	для моделирования законов и явлений физики конденсированного состояния;
		Уметь: строить физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники, проводить сравнительный анализ кристаллических структур разных типов с применением математических и физических моделей и программного обеспечения, объяснять влияние структуры кристаллов на свойства приборов и устройств электроники и наноэлектроники;
		Владеть: навыками применения математики для описания физических явлений и процессов, построения физических и математических моделей приборов и устройств электроники и наноэлектроники.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	180 (5 зач. ед)	180 (5 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	85	14
Лекции	34	6
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	34	4
Лабораторные работы	17	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	95	166

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Структура кристаллов.

Введение. Монокристаллы и поликристаллы. Трансляции и кристаллическая решетка. Набор операций симметрии. Точечная группа (класс) симметрии кристаллической решетки.

Базис и кристаллическая структура. Примитивные ячейки. Примитивная ячейка Вигнера – Зейтца. Двумерные кристаллические решетки. Трехмерные кристаллические решетки. Положение и ориентация плоскостей в кристаллах. Индексы Миллера. Положение узлов элементарной ячейки.

Простые кристаллические структуры. Структура хлористого натрия. Структура хлористого цезия. Гексагональная структура с плотной упаковкой. Структура алмаза. Кубическая модификация структуры сульфида цинка. Гексагональная модификация структуры сульфида цинка.

Тема 2. Дифракция в кристаллах и обратная решетка.

Излучения, используемые в дифракционных методах. Закон Брэгга. Экспериментальные дифракционные методы. Метод Лауэ. Метод вращения кристалла. Метод порошка. Уравнения дифракции Лауэ.

Обратная решетка. Построение Эвальда. Построение Бриллюэна. Зоны Бриллюэна. Первая зона Бриллюэна простой кубической решетки.

Тема 3. Типы связей в кристаллах.

Основные типы связей в кристаллах. Кристаллы инертных газов. Силы Ван-дер-Ваальса. Взаимное отталкивание атомов. Полная потенциальная энергия кристалла. Ионные кристаллы. Энергия Маделунга. Ковалентные кристаллы. Металлические кристаллы. Кристаллы с водородными связями.

Тема 4. Упругие свойства кристаллов.

Напряжения и деформации. Закон Гука. Модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона. Диаграмма растяжения – сжатия. Кручение.

Анализ упругих деформаций. Расширение. Компоненты напряжений. Постоянные упругой податливости и упругой жесткости. Плотность упругой энергии. Постоянные упругой жесткости кубических кристаллов. Объемный модуль упругости и сжимаемость. Упругие волны в кубических кристаллах. Экспериментальное определение упругих постоянных. Упругие постоянные третьего порядка.

Тема 5. Фононы и колебания решетки.

Фонон. Импульс фонона. Неупругое рассеяние фотонов на акустических фононах. Неупругое рассеяние рентгеновских лучей на фононах. Дисперсионный закон для колебаний в решетке из одинаковых атомов. Акустические и оптические фононы.

Тема 6. Тепловые свойства диэлектриков.

Теплоемкость кристаллической решетки. Функция распределения Планка. Модель Эйнштейна. Функция плотности состояний в одномерном случае. Плотность состояний в трехмерном случае. Теория теплоемкости решетка по Дебаю. Анггармонические взаимодействия в кристаллах.

Тема 7. Свободный электронный газ Ферми.

Модель свободных электронов. Свободный электронный газ Ферми. Энергетические уровни и плотность состояний в одномерном случае. Энергия Ферми. Температурная зависимость функции распределения Ферми – Дирака. Свободный электронный газ в трехмерном случае. Поверхность Ферми. Температура Ферми.

Тема 8. Тепловые и электрические свойства металлов.

Теплоемкость металлов. Электропроводность металлов. Время релаксации. Дрейфовая скорость. Средняя длина свободного пробега электрона проводимости. Электропроводность металлов.

Электросопротивление металлов. Остаточное сопротивление. Теплопроводность твердых тел. Теплопроводность металлов. Закон Видемана – Франца. Число Лорентца. Плазмоны. Эффект Холла в металлах.

Тема 9. Дефекты и дислокации.

Вакансии кристаллической решетки. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Диффузия примесных атомов и вакансий. Центры окрашивания в щелочно-галоидных кристаллах.

Сопротивление сдвига в монокристаллах. Скольжение. Линейные и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Поля напряжений, связанные с дислокациями. Плотность дислокаций. Силы, необходимые для перемещения дислокаций. Взаимодействие дислокаций и преодоление препятствий. Размножение дислокаций.

Тема 10. Магнитные свойства твердых тел.

Магнитные моменты электронов и атомов. Диа-, пара- и ферромагнетизм. Сверхпроводимость. Сверхпроводящие материалы. Снятие сверхпроводимости магнитным полем. Диамагнетизм. Формула Ланжевена. Диамагнетизм молекул.

Парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Магнитная структура ферромагнетиков. Магнитная структура антиферромагнетиков. Ферромагнитные домены. Коэрцитивная сила и гистерезис.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Структура кристаллов.	6	1
2	Дифракция в кристаллах и обратная решетка.	4	1
3	Типы связей в кристаллах.	4	-
4	Упругие свойства кристаллов.	4	-

5	Фононы и колебания решетки.	2	1
6	Тепловые свойства диэлектриков.	2	-
7	Свободный электронный газ Ферми.	2	1
8	Тепловые и электрические свойства металлов.	4	-
9	Дефекты и дислокации	4	1
10	Магнитные свойства твердых тел.	2	1
Итого:		34	6

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Кристаллография и структура кристаллов.	4	1
2	Дифракция в кристаллах и обратная решетка.	4	-
3	Ионные кристаллы.	2	
4	Структура кристаллов. Дифракция в кристаллах и обратная решетка. Типы связей в кристаллах. (Коллоквиум).	2	-
5	Упругость кристаллов.	4	1
6	Квантовая теория строения атома. Теория Бора.	4	-
7	Волны де Бройля. Принцип неопределенности. Уравнение Шредингера		
8	Статистика Ферми - Дирака.	4	-
9	Диффузия в металлах и сплавах.	4	1
10	Зонная теория твердых тел.	4	-
11	Упругие свойства твердых тел. Фононы и колебания решетки. Тепловые свойства диэлектриков. (Коллоквиум).	2	1
Итого:		34	4

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Индицирование дифрактограммы и определение параметра элементарной ячейки.	2	1
2	Индицирование электронограммы и определение параметра элементарной ячейки.	2	-
3	Изучение температурной зависимости сопротивления металлов	2	1
4	Определение работы выхода электрона из металла.	2	-
5	Снятие кривой намагничивания и петли гистерезиса с помощью осциллографа	2	-
6	Определение точки Кюри.	2	1
7	Механические, тепловые и электрические свойства металлов. (Расчетная лабораторная работа)	2	-
8	Свободный электронный газ Ферми. Тепловые и электрические свойства металлов.	2	1
9	Магнитные свойства твердых тел. Точечные дефекты в твердых телах. Дислокации.	1	-
Итого:		17	4

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Структура кристаллов. Дифракция в кристаллах и обратная решетка. Типы связей в кристаллах.	Подготовка к практическим занятиям	6	7
		Подготовка к тестированию	4	7
		Решение задач домашних заданий	6	7
2	Индексирование дифрактограмм и электронограмм и определение параметра элементарной ячейки.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	22
3	Упругие свойства твердых тел. Фононы и колебания решетки. Тепловые свойства диэлектриков.	Подготовка к практическим занятиям	6	7
		Подготовка к тестированию	4	7
		Решение задач домашних заданий	6	7
4	Свободный электронный газ Ферми. Тепловые и электрические свойства металлов. Зонная теория твердых тел.	Подготовка к практическим занятиям	6	7
		Подготовка к тестированию	4	7
		Решение задач домашних заданий	6	7
5	Снятие температурной зависимости электросопротивления металлов. Определение точки Кюри.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	24
6	Магнитные свойства твердых тел. Точечные дефекты в твердых телах. Дислокации.	Подготовка к практическим занятиям	6	7
		Подготовка к тестированию	6	7
		Решение задач домашних заданий	6	7
7	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	21	36
Итого:			95	166

4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и

предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

6. Формы контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- контрольные вопросы к практическим занятиям;
- вопросы к лабораторным работам;
- тесты;
- вопросы к экзамену.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме устного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы). Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Экзамены
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	отлично (5)
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	хорошо (4)
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	удовлетворительно (3)
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	неудовлетворительно (2)

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] / Лебедев А. И. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0995-6 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - Режим доступа : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109956.html>

2. Тимофеев В.Б. Возбуждения в двумерных сильнокоррелированных электронных и электронно-дырочных системах [Электронный ресурс] / В.Б. Тимофеев - М. : Издательский дом МЭИ, 2016. (Высшая школа физики [Электронный ресурс] / ред. коллегия серии: В.П. Смирнов пред. [и др.]; вып. 3) - ISBN 978-5-383-01007-5 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - Режим доступа : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010075.html>

б) Дополнительная литература:

1. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / Байков Ю.А., Кузнецов В.М., - 3-е изд., (эл.) - Москва : БИНОМ. ЛЗ, 2015. - 296 с.: ISBN 978-5-9963-2960-1 - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/540554>

2. Морозов А.И. Элементы современной физики твердого тела [Электронный ресурс]: Учебное пособие/А.И.Морозов - Долгопрудный: Интеллект, 2015. - 216 с.: 60х90 1/16 (Обложка) ISBN 978-5-91559-191-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/518200>

3. Стрекалов Ю.А. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/363421>

4. Петров Ю.В. Основы физики конденсированного состояния [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Ю.В. Петров. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 216 с.: 60х90 1/16. (обложка) ISBN 978-5-91559-110-2, 500 экз. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/484938>

в) Методические рекомендации/указания:

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика твердого тела». Практические занятия №№ 1-7 / Сост.: Г.О. Войтенко, В.А. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2012. – 19 с.

2. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физика твердого тела». Лабораторные работы №№ 1-7 / Сост.: Г.О. Войтенко, В.А. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2012. – 29 с.

3. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине «Физика твердого тела» / Сост. Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2012. – 20 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

Научные журналы

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схемотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Лабораторные работы проводятся с использованием некомпьютеризированных и компьютеризированных лабораторных стендов, пакета специализированных компьютерных программ, а также компьютерной математической среды MatLab.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных специализированных компьютерных программах и средах.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird

Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине

Паспорт фонда оценочных средств по учебной дисциплине «Физика конденсированного состояния»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Тема 1 Структура кристаллов	1
				Тема 2 Дифракция в кристаллах и обратная решетка	1
				Тема 3 Типы связей в кристаллах	1
				Тема 4 Упругие свойства кристаллов	1
				Тема 5 Фононы и колебания решетки	1

		программные средства их компьютерного		Тема 6 Тепловые свойства диэлектриков	1
				Тема 7 Свободный электронный газ Ферми	1
				Тема 8 Тепловые и электрические свойства металлов	1
				Тема 9 Дефекты и дислокации. Движение дислокаций	1
				Тема 10 Магнитные свойства твердых тел	1

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Знать: строение монокристаллов и поликристаллов, трансляции, набор операций симметрии, излучения, используемые в приборах, устройствах и установках электроники и наноэлектроники, экспериментальные дифракционные методы и компьютерные программы для моделирования законов и явлений физики конденсированного состояния;	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Практическое занятие 1, Практическое занятие 2, Практическое занятие 3, Практическое занятие 4, Лабораторная работа 1, Лабораторная работа 2,	Контрольные вопросы к практическим занятиям, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы к экзамену

			<p>Уметь: строить физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники, проводить сравнительный анализ кристаллических структур разных типов с применением математических и физических моделей и программного обеспечения, объяснять влияние структуры кристаллов на свойства приборов и устройств электроники и наноэлектроники;</p> <p>Владеть: навыками применения математики для описания физических явлений и процессов, построения физических и математических моделей приборов и устройств электроники и наноэлектроники.</p>	<p>Лабораторная работа 3, Лабораторная работа 4, Лабораторная работа 5, Лабораторная работа 6</p>	
--	--	--	---	---	--

Фонды оценочных средств по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

Контрольные вопросы к практическим занятиям:

1. Что понимают под элементарной ячейкой, базисом, трансляцией?
2. Что называют кристаллической структурой?
3. Какие преобразования относят к операциям симметрии?
4. Что понимают под точечной группой (классом) симметрии кристаллической решетки?
5. Как определяют положение и ориентацию плоскостей в кристаллах?

6. Какие излучения используют в дифракционных методах?
7. Сформулируйте и объясните закон Брэгга.
8. В чем заключается дифракционный метод Лауэ?
9. Запишите и объясните уравнения дифракции Лауэ.
10. Как определяют обратную решетку?
11. Как определяется вектор сдвига?
12. Как определяют компоненты тензора деформации?
13. Объясните физический смысл компонентов напряжений.
14. Какие постоянные называют постоянными упругой податливости и упругой жесткости?
15. Как рассчитывают плотность упругой энергии?
16. Что называют фононом? Импульсом фонона?
17. Приведите и объясните схему неупругого рассеяния фотонов на акустических фононах.
18. Приведите и объясните правило отбора для волнового вектора при неупругом рассеянии фотонов на акустических фононах.
19. Приведите и объясните правило отбора для волнового вектора при неупругом рассеянии рентгеновских лучей на фононах.
20. Приведите и объясните уравнение, которое отображает дисперсионный закон для колебаний в решетке из одинаковых атомов.
21. Как определяют теплоемкость кристаллической решетки?
22. Приведите выражение для функции распределения Планка.
23. В чем заключается модель Эйнштейна?
24. Приведите и объясните уравнение для функции плотности состояний в одномерном случае.
25. Какой вид имеет функция плотности состояний в трехмерном случае?
26. Что понимают под свободным электронным газом Ферми?
27. Рассмотрите состояние газа свободных электронов в одномерном случае.
28. Какой вид имеет волновая функция в одномерном случае?
29. Что называют энергией Ферми?
30. Рассмотрите состояние газа свободных электронов в трехмерном случае.
31. Приведите и объясните выражение для электронной теплоемкости.
32. Приведите и объясните двумерную схему поверхности Ферми без влияния электрического поля и под влиянием постоянного электрического поля.
33. Запишите и объясните выражение для электропроводности металлов.
34. Объясните физический смысл остаточного сопротивления металлов.
35. В чем сущность электростатического экранирования?
36. Приведите и сравните схемы заполнения электронами разрешенных энергетических зон в диэлектриках, металлах, полупроводниках и полуметаллах.
37. Что называют запрещенной зоной?
38. Объясните физический смысл эффективной массы электрона.
39. Объясните происхождение энергетической щели с точки зрения зонной теории.
40. Что описывают функции Блоха?
41. Какое явление называют сверхпроводимостью?

42. При каких условиях происходит снятие сверхпроводимости магнитным полем?
43. В чем сущность явления диамагнетизма?
44. В чем сущность явления парамагнетизма?
45. Опишите магнитную структуру ферромагнетиков и антиферромагнетиков.
46. Что называют вакансиями кристаллической решетки?
47. Как возникают дефекты по Шоттки и Френкелю?
48. Приведите уравнение для температурной зависимости концентрации дефектов по Шоттки и Френкелю.
49. Как в твердых телах происходит диффузия примесных атомов и вакансий?
50. Что понимают под центрами окрашивания в щелочно-галлоидных кристаллах?
51. Почему происходит сопротивление сдвигу в монокристаллах?
52. Что понимают под скольжением?
53. Что понимают под дислокацией?
54. Какие дислокации называют линейными? Винтовыми?
55. Как происходит размножение дислокаций?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к практическим занятиям

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов отвечать)

Вопросы к лабораторным работам:

1. Монокристаллы и поликристаллы.
2. Трансляции и кристаллическая решетка.
3. Набор операций симметрии.
4. Точечная группа (класс) симметрии кристаллической решетки.
5. Базис и кристаллическая структура.
6. Примитивные ячейки.
7. Примитивная ячейка Вигнера – Зейтца.
8. Двумерные кристаллические решетки.
9. Трехмерные кристаллические решетки.
10. Положение и ориентация плоскостей в кристаллах.

11. Индексы Миллера.
12. Положение узлов элементарной ячейки.
13. Простые кристаллические структуры.
14. Структура хлористого натрия.
15. Структура хлористого цезия.
16. Гексагональная структура с плотной упаковкой.
17. Структура алмаза.
18. Кубическая модификация структуры сульфида цинка.
19. Гексагональная модификация структуры сульфида цинка.
20. Излучения, используемые в дифракционных методах.
21. Закон Брэгга.
22. Экспериментальные дифракционные методы.
23. Метод Лауэ.
24. Метод вращения кристалла.
25. Метод порошка.
26. Уравнения дифракции Лауэ.
27. Обратная решетка.
28. Построение Эвальда.
29. Построение Бриллюэна.
30. Зоны Бриллюэна.
31. Первая зона Бриллюэна простой кубической решетки.
32. Основные типы связей в кристаллах.
33. Кристаллы инертных газов.
34. Силы Ван-дер-Ваальса.
35. Взаимное отталкивание атомов.
36. Полная потенциальная энергия кристалла.
37. Ионные кристаллы.
38. Энергия Маделунга.
39. Ковалентные кристаллы.
40. Металлические кристаллы.
41. Кристаллы с водородными связями.
42. Напряжения и деформации.
43. Закон Гука.
44. Модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона.
45. Диаграмма растяжения – сжатия.
46. Кручение.
47. Анализ упругих деформаций.
48. Расширение.
49. Компоненты напряжений.
50. Постоянные упругой податливости и упругой жесткости.
51. Плотность упругой энергии.
52. Постоянные упругой жесткости кубических кристаллов.
53. Объемный модуль упругости и сжимаемость.
54. Упругие волны в кубических кристаллах.
55. Экспериментальное определение упругих постоянных.
56. Упругие постоянные третьего порядка.

57. Фонон. Импульс фонона.
58. Неупругое рассеяние фотонов на акустических фононах.
59. Неупругое рассеяние рентгеновских лучей на фононах.
60. Дисперсионный закон для колебаний в решетке из одинаковых атомов.
61. Акустические и оптические фононы.
62. Теплоемкость кристаллической решетки.
63. Функция распределения Планка.
64. Модель Эйнштейна.
65. Функция плотности состояний в одномерном случае.
66. Плотность состояний в трехмерном случае.
67. Теория теплоемкости решетка по Дебаю.
68. Ангармонические взаимодействия в кристаллах.
69. Модель свободных электронов. Свободный электронный газ Ферми.
70. Энергетические уровни и плотность состояний в одномерном случае.
71. Энергия Ферми.
72. Температурная зависимость функции распределения Ферми – Дирака.
73. Свободный электронный газ в трехмерном случае.
74. Поверхность Ферми.
75. Температура Ферми.
76. Теплоемкость металлов.
77. Электропроводность металлов.
78. Время релаксации.
79. Дрейфовая скорость.
80. Средняя длина свободного пробега электрона проводимости.
81. Электропроводность металлов.
82. Электросопротивление металлов. Остаточное сопротивление.
83. Теплопроводность твердых тел.
84. Теплопроводность металлов.
85. Закон Видемана – Франца. Число Лорентца.
86. Плазмоны.
87. Эффект Холла в металлах.
88. Вакансии кристаллической решетки.
89. Дефекты по Шоттки и Френкелю.
90. Диффузия примесных атомов и вакансий. Центры окрашивания в щелочно-галогенидных кристаллах.
91. Сопротивление сдвига в монокристаллах. Скольжение.
92. Линейные и винтовые дислокации.
93. Вектор Бюргерса.
94. Поля напряжений, связанные с дислокациями.
95. Плотность дислокаций.
96. Силы, необходимые для перемещения дислокаций.
97. Взаимодействие дислокаций и преодоление препятствий.
98. Размножение дислокаций.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству вопросы к лабораторным вопросам

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

Тесты:

1. Элементарной ячейкой называют:

- А) группу атомов, связанную с каждой точкой решетки.
- Б) периодически повторяющуюся в пространстве элементарную часть кристаллической решетки.
- В) произвольный вектор трансляций в кристаллической решетке.

2. Примитивная ячейка – это ячейка:

- А) минимального объема.
- Б) имеющая форму куба.
- В) на которую приходится одна точка решетки.

3. Плоскость отсекает на кристаллографических осях отрезки: 2a, 3b, 2c. Определить индексы Миллера.

- А) (2 3 2).
- Б) (4 6 4).
- В) (3 2 3).

4. Поворотная ось четвертого порядка в кристаллах соответствует углу поворота:

- А) 45°.
- Б) 90°.
- В) 180°.

5. Пространственная решетка алмаза является:

- А) кубической гранецентрированной.
- Б) кубической объемно-центрированной.
- В) кубической базоцентрированной.

6. Дифракционные методы основаны на законе:

- А) Бриллюэна.
- Б) Брэгга.
- В) Вигнера-Зейтца.

7. Для детального исследования структуры монокристаллического образца следует использовать дифракционный метод:

- А) метод Лауэ.
- Б) метод вращения кристалла.
- В) метод порошка.

8. Какая из химических связей обусловлена диполь-дипольным взаимодействием?

- А) металлическая.
- Б) ковалентная.
- В) Ван-дер-Ваальсова.

9. Какая из химических связей характеризуется большими значениями энергий связи и относится к сильным связям?

- А) металлическая.
- Б) ковалентная.
- В) Ван-дер-Ваальсова.

10. Кристаллы инертных газов характеризуются:

- А) высокими значениями энергии связи.
- Б) низкими температурами плавления.
- В) высокими температурами кристаллизации.

11. Согласно закону Гука:

- А) механические напряжения пропорциональны относительным деформациям.
- Б) механические напряжения пропорциональны абсолютным деформациям.
- В) механические напряжения обратно пропорциональны относительным деформациям.

12. Модуль Юнга характеризует свойства материала при деформации:

- А) растяжения (сжатия).
- Б) сдвига.
- В) кручения.

13. Фонон является квантом энергии волны:

- А) акустической.
- Б) электромагнитной.
- В) упругой.

14. Оптические фононы образуются при взаимодействии электромагнитной волны с кристаллами:

- А) ковалентными.
- Б) ионными.
- В) металлическими.

15. Модель свободного электронного газа Ферми применяется при описании кристаллов:

- А) ковалентных.
- Б) ионных.
- В) металлических.

16. В модели свободного электронного газа Ферми приравнивается к нулю энергия электрона:

- А) кинетическая.
- Б) потенциальная.
- В) полная.

17. С ростом температуры металла увеличивается:

- А) его теплоемкость.
- Б) его электросопротивление.
- В) его электропроводность.

18. При помещении металла во внешнее электрическое поле смещение сферы Ферми ограничивается:

- А) электрон-фононным взаимодействием.
- Б) электрон-электронным взаимодействием.
- В) рассеянием электронов на дефектах структуры.

19. Согласно зонной теории твердых тел, перекрытие зон наблюдается:

- А) в металлах.
- Б) в полуметаллах.
- В) в полупроводниках.

20. Явление диамагнетизма можно наблюдать в веществах:

- А) атомы которых имеют результирующий магнитный момент.
- Б) атомы которых не имеют результирующего магнитного момента.
- В) результирующий магнитный момент атомов которых обусловлен спиновыми магнитными моментами электронов.

21. К парамагнетикам относятся:

- А) литий.
- Б) аргон.
- В) кремний.

22. Явление магнитного гистерезиса ферромагнетиков заключается в следующем:

- А) при температуре ниже точки Кюри ферромагнитное тело разбито на домены – малые области самопроизвольной намагниченности.
- Б) изменение вектора магнитной индукции поля ферромагнетика отстает от изменения напряженности внешнего магнитного поля.
- В) в отсутствие внешнего магнитного поля направления векторов спонтанной намагниченности в каждом домене совпадают с одним из направлений легчайшего намагничивания.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

1. Кристаллическая решетка. Базис. Кристаллическая структура.
2. Двумерные и трехмерные кристаллические решетки.
3. Индексы направлений. Индексы плоскостей.
4. Структуры хлористого натрия и хлористого цезия.
5. Структура алмаза.
6. Кубическая и гексагональная модификации структуры сульфида цинка.
7. Экспериментальные дифракционные методы.
8. Уравнения дифракции Лауэ.
9. Обратная решетка. Векторы обратной решетки.
10. Основные типы связей в кристаллах.
11. Кристаллы инертных газов.
12. Ионные кристаллы и ковалентные кристаллы.
13. Закон Гука. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона.
14. Компоненты напряжений и компоненты деформаций.
15. Фонон. Импульс фонона.
16. Акустические и оптические фононы.
17. Модель свободных электронов. Свободный электронный газ Ферми.
18. Температурная зависимость функции распределения Ферми – Дирака.
19. Свободный электронный газ в трехмерном случае.
20. Теплоемкость металлов.
21. Электропроводность металлов.
22. Электросопротивление металлов. Остаточное сопротивление.
23. Теплопроводность металлов.

24. Схема заполнения электронами разрешенных энергетических зон в твердых телах.
25. Сверхпроводимость.
26. Диа- и парамагнетизм.
27. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.
28. Дефекты по Френкелю и Шоттки.
29. Линейные и винтовые дислокации.
30. Источники дислокаций. Взаимодействие дислокаций и огибание препятствий.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)