

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра высшей математики и физики

Фонд оценочных средств дисциплины

**Б1.В.1.05 Структура кристаллических и неупорядоченных систем**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования по направлению подготовки  
(сетевая форма реализации)

**03.04.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль)  
«Физические исследования инновационных материалов»

Уровень  
**Магистратура**

Форма обучения  
**Очная**

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры  
08.09.2022 г., протокол № 2

Зав. кафедрой



Зайцева И.В.

Автор-разработчик:  
к.х.н., Михтеева Е.Ю.  
к.т.н., Бобкова Т.И.

**1. Паспорт Фонда оценочных средств по дисциплине**  
**«Структура кристаллических и неупорядоченных систем»**

**Таблица 1. Перечень оценочных средств текущего контроля**

№ п/п	Тема дисциплины	Формируемые компетенции	Наименование средств текущего контроля
1	Теория симметрии идеальных кристаллов	ПК-1.1; ПК-3.1	Устная защита выполнения практических работ №1, №2, №3
2	Дефектообразование кристаллах	ПК-1.1; ПК-3.1	Устная защита выполнения практических работ №4, №5, №6
	Текущий контроль успеваемости (ТКУ)	ПК-1.1; ПК-3.1	Тест в Moodle
3	Неупорядоченные системы. Аморфное, стеклообразное состояние	ПК-1.1; ПК-3.1	Устная защита выполнения практических работ №7
4	Аморфные металлические сплавы. Неупорядоченные полупроводники	ПК-1.1; ПК-3.1	Устная защита выполнения практических работ №8, №9, №10
Форма промежуточной аттестации:			Экзамен

**2. Перечень компетенций, с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины**

**Таблица 2. Перечень компетенций, формируемых в процессе освоения дисциплины**

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
ПК-1. Способен использовать специализированные знания о выбранных объектах исследований для проведения научных исследований с использованием современных информационных технологий	Знать: – виды дефектов кристаллической решетки и механизмы их образования и взаимодействия между собой; – механизмы движения дефектов кристаллической решетки; физические факторы, влияющих на механические свойства металлов и сплавов	Задания практико-ориентированного уровня: Практические работы № 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
	Уметь: – описывать структурные дефекты в кристаллических и аморфных веществах	Задания практико-ориентированного уровня: Практические работы № 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
ПК-1.1. Применяет специальные знания для исследования структуры и свойств новых материалов	Владеть: – методами выращивания монокристаллов и неупорядоченных систем; – методами исследования структурных дефектов	Задания практико-ориентированного уровня: Практические работы № 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
ПК-3. Способен к анализу проблемы, постановке цели научного исследования, выбору средств ее достижения  ПК-3.1. Критически анализирует современные проблемы в избранной области исследований	Знать: – пути и методы повышения физико-механических свойств твердых тел;	Задания практико-ориентированного уровня: Практические работы № 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
	Уметь: – самостоятельно обрабатывать и анализировать экспериментальные результаты	Задания практико-ориентированного уровня: Практические работы № 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
	Владеть: – методами определения основных параметров дефектов кристаллических и аморфных веществ	Задания практико-ориентированного уровня: Практические работы № 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10

### 3. Балльно-рейтинговая система оценивания

**Таблица 3. Распределение баллов по видам учебной работ**

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Текущий контроль успеваемости	0-100
Промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

**Таблица 3.1. Распределение баллов по текущему контролю**

№	Вид работ	Min	Max
1. Обязательная часть			
1.1 Текущий контроль успеваемости по проверке форсированности остаточных знаний			
Текущий контроль успеваемости (ТКУ):		0	10
1.2 Выполнение практических работ:			
1.2.1	Практическая работа № 1. Геометрия кристаллов.	2	3
1.1.2	Практическая работа № 2. Теория роста кристаллов.	2	3
1.1.3	Практическая работа № 3. Методы исследования структуры кристаллов.	2	3
1.1.4	Практическая работа № 4. Пластическая деформация кристаллов.	2	3

1.1.5	Практическая работа № 5. Типы дефектов в кристаллах.	2	3
1.1.6	Практическая работа № 6. Дислокации. Двойникование.	2	3
	Практическая работа № 7. Поверхности раздела в кристаллах. Свойства несовершенных кристаллов	2	3
	Практическая работа № 8. Аморфное, стеклообразное состояние	2	3
	Практическая работа № 9. Аморфные металлы	2	3
	Практическая работа № 10. Неупорядоченные полупроводники. Жидкие полупроводники	2	3
Итого баллов по обязательной части		20	40
<b>2. Вариативная часть</b>			
2.1	Реферат по дисциплине «Структура кристаллических и неупорядоченных систем»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

**Таблица 3.2. Конвертация баллов в итоговую оценку**

Оценка	Баллы
Отлично	85-100
Хорошо	64-84
Удовлетворительно	40-63
Не удовлетворительно	0-39

#### **4. Содержание оценочных средств текущего контроля**

Перечень учебно-методического и информационного обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в рабочих программах и методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень практических работ, методика выполнения и критерии оценивания по темам дисциплины:

## **Практическая работа № 1. Геометрия кристаллов:**

Цель работы: изучить основные элементы симметрии кристаллических многогранников, определить симметрию кристаллических моделей и освоить принципы стереографической проекции.

### **Физико-химические основы процесса**

Кристаллы — это твёрдые тела, обладающие трёхмерной периодичностью атомной структуры, что внешне проявляется в виде симметричных многогранников. Их геометрия описывается с помощью элементов симметрии: плоскостей (P), осей (L) и центра инверсии (C). Совокупность всех элементов симметрии кристалла образует его точечную группу симметрии (класс). Ориентация граней и ребер кристалла удобно отображается с помощью стереографической проекции.

### **Экспериментальная методика и оборудование**

Методика основана на визуальном анализе моделей кристаллов и определении их элементов симметрии. Используемое оборудование: набор моделей кристаллических многогранников (куб, гексагональная призма, октаэдр и др.), транспортер, линейка.

### **Ход работы**

#### **Определение элементов симметрии**

Для каждой выданной модели кристалла необходимо найти и определить порядок всех осей симметрии, провести все возможные плоскости симметрии и установить наличие или отсутствие центра инверсии. Все обнаруженные элементы заносятся в таблицу.

#### **Построение стереографической проекции**

Выбирается одна из моделей, например, куб. Модель ориентируется таким образом, чтобы одна из осей высокого порядка располагалась вертикально. С помощью гномонического проектирования положение каждой грани переносится на плоскость проекции. На проекции отмечаются следы плоскостей симметрии и положения осей симметрии.

#### **Сингонии кристаллов**

На основании проведенного анализа определяется, к какой сингонии (кубической, гексагональной, тетрагональной и т.д.) принадлежит каждый исследуемый кристалл, исходя из наличия у него характерных осей симметрии.

### **Оформление отчета**

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Таблицу с результатами анализа моделей.
4. Пример построенной стереографической проекции для одного кристалла.
5. Выводы, в которых указывается определенная симметрия и сингония для каждого изученного кристалла.

## **Практическая работа № 2. Рост кристаллов:**

Цель работы: экспериментально исследовать влияние скорости охлаждения на морфологию и размер кристаллов, выращенных из водных растворов, и освоить метод выращивания монокристаллов.

### **Физико-химические основы процесса**

Рост кристаллов из растворов — это процесс формирования упорядоченной

кристаллической структуры на поверхности затравки при переходе вещества из жидкой фазы в твёрдую. Основные стадии процесса: образование пересыщенного раствора, зарождение центров кристаллизации и собственно рост кристаллов. Морфология и размер кристаллов определяются степенью пересыщения и скоростью охлаждения раствора. Высокие скорости охлаждения приводят к образованию мелких дендритных кристаллов, а медленные — к формированию крупных монокристаллов с чёткими гранями.

#### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на выращивании кристаллов медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) из водных растворов при различных режимах охлаждения. Используемое оборудование: химические стаканы, термостат, фильтровальная бумага, нить для затравки, микроскоп. Основные реактивы: медный купорос, дистиллированная вода.

#### Ход работы

##### Приготовление пересыщенного раствора

В химический стакан помещают 100 г дистиллированной воды и нагревают на термостате до  $70^\circ\text{C}$ . При постоянном перемешивании небольшими порциями добавляют медный купорос до полного насыщения раствора (примерно 80 г). Раствор фильтруют для удаления нерастворимых примесей.

##### Выращивание кристаллов при различных режимах

Раствор делят на три части. Первую часть охлаждают быстро (погружением в холодную воду), вторую — медленно (со скоростью  $2^\circ\text{C}/\text{час}$ ), третью — при комнатной температуре. В каждый раствор помещают затравки — мелкие кристаллы медного купороса, подвешенные на нитях.

##### Анализ полученных кристаллов

Через 48 часов кристаллы извлекают из растворов, высушивают фильтровальной бумагой и анализируют под микроскопом. Определяют размеры кристаллов, форму граней, наличие дендритных образований и дефектов для каждого режима охлаждения.

#### Оформление отчёта

Отчёт по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Таблицу экспериментальных данных
4. Зарисовки или фотографии кристаллов для каждого режима охлаждения
5. Выводы о влиянии скорости охлаждения на морфологию и размер кристаллов

#### **Практическая работа № 3. Методы исследования структуры кристаллов:**

Цель работы: освоить методику идентификации кристаллических фаз методом рентгенофазового анализа (РФА) и определить параметры элементарной ячейки по рентгенограмме.

##### Физико-химические основы процесса

Рентгенофазовый анализ основан на дифракции рентгеновских лучей на атомных плоскостях кристаллической решетки. Условие дифракции описывается уравнением Брэгга-Вульфа:  $2d \sin\theta = n\lambda$ , где  $d$  - межплоскостное расстояние,  $\theta$  - угол скольжения,  $\lambda$  - длина волны излучения,  $n$  - порядок отражения. Анализируя положения и интенсивности дифракционных максимумов на рентгенограмме, можно идентифицировать кристаллические фазы и определить параметры элементарной ячейки.

### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на получении и анализе рентгенограмм порошковых образцов на дифрактометре. Используемое оборудование: рентгеновский дифрактометр, пресс для таблетирования образцов, эталонные образцы (NaCl, SiO<sub>2</sub>). Основные реактивы: порошкообразные образцы неизвестных веществ.

#### Ход работы

##### Подготовка образцов и съемка рентгенограмм

Измельчают исследуемые образцы в тонкий порошок и прессуют в специальные держатели. Устанавливают образцы в дифрактометр и проводят съемку в диапазоне углов 20-80° 2θ. Аналогичным образом получают рентгенограммы эталонных образцов NaCl и SiO<sub>2</sub>.

##### Индексирование рентгенограмм и идентификация фаз

На полученных рентгенограммах измеряют положения дифракционных максимумов и рассчитывают межплоскостные расстояния по уравнению Брэгга-Вульфа. Сравнивают экспериментальные данные с эталонными из базы данных PDF. Определяют кристаллические фазы в исследуемых образцах.

##### Определение параметров элементарной ячейки

Для кубического кристалла (NaCl) по индексам отражений и соответствующим значениям  $\sin^2\theta$  рассчитывают параметр элементарной ячейки  $a$ . Строят график зависимости  $\sin^2\theta$  от  $(h^2 + k^2 + l^2)$  и по углу наклона прямой определяют постоянную решетки.

#### Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Рентгенограммы исследуемых образцов
4. Таблицы экспериментальных данных
5. Расчет параметров элементарной ячейки
6. Выводы с идентификацией фаз и параметрами решетки

### **Практическая работа № 4. Пластическая деформация кристаллов:**

Цель работы: исследовать механизм пластической деформации монокристаллов и поликристаллических материалов, изучить явление наклепа и определить механические характеристики металлов.

#### Физико-химические основы процесса

Пластическая деформация кристаллов осуществляется в основном за счет скольжения дислокаций по плоскостям с наиболее плотной упаковкой атомов. Критическое напряжение сдвига определяется силами Пайерлса-Набарро. При деформации происходит умножение дислокаций, их взаимодействие и образование ячеистой структуры, что приводит к явлению наклепа (упрочнения). В поликристаллах дополнительное влияние оказывают границы зерен.

### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на проведении испытаний на растяжение и измерении твердости образцов до и после пластической деформации. Используемое оборудование: универсальная испытательная машина, твердомер, металлографический микроскоп. Образцы: алюминий, медь, низкоуглеродистая сталь.

## Ход работы

### Подготовка образцов

Подготавливают образцы стандартной формы для испытаний на растяжение. Проводят начальные измерения геометрических параметров и определяют исходную твердость по Бринеллю или Роквеллу.

### Испытание на растяжение

Проводят испытания на растяжение со скоростью 2 мм/мин, фиксируя диаграмму "нагрузка-удлинение". Определяют предел текучести, предел прочности и относительное удлинение. Наблюдают стадию упругой деформации, площадку текучести (для стали) и стадию упрочнения.

### Исследование наклепа

Образцы подвергают пластической деформации с разной степенью обжатия (10%, 20%, 30%). После деформации измеряют твердость и строят график зависимости твердости от степени деформации. Проводят металлографический анализ структуры до и после деформации.

### Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Диаграммы растяжения
4. Таблицы механических характеристик
5. График зависимости твердости от степени деформации
6. Выводы о механизме пластической деформации и явлении наклепа

## **Практическая работа № 5. Типы дефектов в кристаллах:**

Цель работы: исследовать влияние различных типов дефектов кристаллической решетки на физико-механические свойства металлов и идентифицировать дефекты методами металлографии.

### Физико-химические основы процесса

Дефекты кристаллического строения подразделяются на точечные (вакансии, межузельные атомы, примеси), линейные (дислокации) и поверхностные (границы зерен, двойниковые границы). Дислокации определяют пластичность кристаллов, точечные дефекты влияют на диффузию и электрические свойства, а границы зерен оказывают влияние на прочность и коррозионную стойкость.

### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на сравнительном анализе свойств и структуры металлов с различной плотностью дефектов. Используемое оборудование: металлографический микроскоп, твердомер, печь для отжига. Образцы: наклепанная и отожженная медь, легированная и чистая сталь.

## Ход работы

### Подготовка образцов

Подготавливают серию образцов: наклепанную пластической деформацией медь, отожженную при 600°C медь, легированную и чистую сталь. Шлифуют, полируют и травят поверхность образцов для металлографического исследования.



### Металлографический анализ

Проводят исследование микроструктуры образцов при увеличениях 100-500×.

Идентифицируют границы зерен, линии скольжения, двойники. Оценивают размер зерна и плотность дислокаций по методу секущих.

### Измерение свойств

Измеряют твердость по Виккерсу и электропроводность всех образцов. Строят корреляцию между плотностью дефектов и измеренными свойствами.

### Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Микрофотографии структур
4. Таблицы измеренных свойств
5. Выводы о влиянии дефектов на свойства

### **Практическая работа № 6. Дислокации. Двойникование:**

Цель работы: изучить механизмы пластической деформации, связанные с движением дислокаций и двойникованием, и исследовать их влияние на структуру и свойства металлов.

### Физико-химические основы процесса

Дислокации — линейные дефекты кристаллической решетки, определяющие пластичность кристаллов. Краевая дислокация характеризуется вектором Бюргерса, перпендикулярным линии дислокации, винтовая — параллельным. Двойникование — процесс переориентации части кристалла в зеркально-симметричное положение относительно плоскости двойникования. Оба механизма являются основными способами пластической деформации в кристаллических материалах.

### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на исследовании микроструктуры металлов после пластической деформации различными способами. Используемое оборудование: металлографический микроскоп, микротвердомер, пресс для деформации. Образцы: цинк, магний, титан и их сплавы.

### Ход работы

#### Подготовка образцов и проведение деформации

Подготавливают полированные образцы цинка и титана. Проводят деформацию образцов сжатием при комнатной температуре со степенью обжатия 5–15%. Часть образцов подвергают деформации ударным способом для активации двойникования.

#### Металлографический анализ дислокационных структур

Проводят травление образцов для выявления дислокационной структуры. Исследуют микроструктуру при увеличениях 500-1000×, идентифицируют скопления дислокаций, ячеистую структуру. Оценивают плотность дислокаций в деформированных и отожженных образцах.

#### Исследование двойникования

Анализируют образцы цинка и магния после деформации, идентифицируют двойники. Измеряют долю двойникового материала и углы двойникования. Сравнивают микротвердость в двойникованных и недеформированных областях.

## Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Микрофотографии дислокационных структур и двойников
4. Таблицы измеренных характеристик
5. Выводы о роли дислокаций и двойникового в пластической деформации

## **Практическая работа № 7. Поверхности раздела в кристаллах. Свойства несовершенных кристаллов:**

Цель работы: исследовать влияние границ зерен и других поверхностей раздела на механические и физические свойства поликристаллических материалов.

### Физико-химические основы процесса

Поверхности раздела в кристаллах (границы зерен, границы двойникового, межфазные границы) являются дефектами упаковки, которые существенно влияют на свойства материалов. Границы зерен тормозят движение дислокаций (упрочнение), но могут служить местами концентрации напряжений и путями ускоренной диффузии. Энергия границ зерен зависит от угла разориентации и описывается моделью Read-Shockley.

### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на сравнительном анализе свойств материалов с различным размером зерна. Используемое оборудование: металлографический микроскоп, микротвердомер, установка для измерения коррозионной стойкости. Образцы: алюминий и латунь с различной зеренной структурой.

### Ход работы

#### Получение материалов с различным размером зерна

Подготавливают серию образцов алюминия и латуни, подвергая их различным термическим обработкам (отжиг при 300-600°C) для получения разного размера зерна. Проводят металлографический анализ и измеряют средний размер зерна методом секущих.

#### Исследование механических свойств

Измеряют микротвердость по Виккерсу для всех образцов. Строят график зависимости твердости от размера зерна. Проводят анализ в соответствии с уравнением Холла-Петча:  
$$H = H_0 + k/\sqrt{d}.$$

#### Исследование коррозионного поведения

Помещают образцы с различным размером зерна в 3% раствор NaCl на 24 часа. Оценивают скорость коррозии по потере массы и анализируют распределение коррозионных повреждений относительно границ зерен.

## Оформление отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Микрофотографии структур с различным размером зерна

4. График Холла-Петча
5. Результаты коррозионных испытаний
6. Выводы о влиянии границ зерен на свойства

### **Практическая работа № 8. Аморфное, стеклообразное состояние:**

Цель работы: исследовать особенности стеклообразного состояния материалов, определить температуру стеклования полимеров и изучить релаксационные процессы в аморфных телах.

#### **Физико-химические основы процесса**

Аморфное состояние характеризуется отсутствием дальнего порядка в расположении атомов и молекул при сохранении ближнего порядка. Стеклообразное состояние — это метастабильное аморфное состояние, образующееся при переохлаждении жидкости. Температура стеклования ( $T_g$ ) — ключевой параметр, разделяющий стеклообразное и высокоэластическое состояния полимеров. При  $T_g$  происходят изменения теплоемкости, коэффициента теплового расширения и механических свойств.

#### **Экспериментальная методика и оборудование**

Методика основана на дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термомеханическом анализе (ТМА). Используемое оборудование: дифференциальный сканирующий калориметр, термомеханический анализатор, реометр. Образцы: полиметилметакрилат (ПММА), полистирол (ПС), силикатное стекло.

#### **Ход работы**

##### **Подготовка образцов**

Подготавливают образцы полимеров в виде пластин толщиной 1-2 мм и порошкообразные образцы силикатных стекол. Проводят кондиционирование образцов при стандартных условиях температуры и влажности.

##### **Определение температуры стеклования методом ДСК**

Нагружают образцы массой 10-15 мг в алюминиевые тигли ДСК. Проводят нагрев со скоростью  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$  в интервале  $25-150^\circ\text{C}$  в атмосфере азота. Фиксируют тепловые потоки и определяют  $T_g$  по inflection point на термограммах.

##### **Термомеханический анализ**

Проводят ТМА в режиме сжатия с нагрузкой 0.1 Н при нагреве со скоростью  $5^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Строят кривые термического расширения и определяют  $T_g$  по изменению коэффициента теплового расширения.

##### **Исследование релаксационных свойств**

Выполняют реологические измерения при температурах ниже и выше  $T_g$ . Строят кривые ползучести и определяют вязкоупругие характеристики материалов.

#### **Оформление отчета**

Отчет по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Термограммы ДСК
4. Кривые ТМА
5. Таблицы определенных температур стеклования
6. Выводы о природе стеклообразного состояния

## **Практическая работа № 9. Аморфные металлы:**

Цель работы: получить аморфные металлические сплавы методом закалки из расплава и исследовать их структуру, термическую стабильность и механические свойства.

### **Физико-химические основы процесса**

Аморфные металлы (металлические стёкла) — металлические сплавы с неупорядоченной атомной структурой, образующиеся при сверхбыстром охлаждении расплава ( $>10^5$  K/c). Критическая скорость охлаждения зависит от состава сплава, наиболее склонны к стеклованию многокомпонентные системы с глубокими эвтектиками. Ключевые характеристики: температура стеклования ( $T_g$ ), температура кристаллизации ( $T_x$ ), интервал переохлаждённой жидкости  $\Delta T = T_x - T_g$ .

### **Экспериментальная методика и оборудование**

Методика основана на получении аморфных лент методом планетарного спиннинга (закалка на вращающийся медный диск) и исследовании их свойств. Используемое оборудование: установка для планетарного спиннинга, дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК), дифрактометр, микротвердомер. Образцы: сплавы на основе Fe-B-Si, Zr-Cu-Ni-Al.

### **Ход работы**

#### **Получение аморфных лент**

Подготавливают шихту заданного состава (Fe<sub>78</sub>B<sub>12</sub>Si<sub>10</sub>). Проводят плавку в индукционной печи в атмосфере аргона. Выполняют закалку расплава на вращающийся медный диск со скоростью 30 м/с. Получают ленту толщиной 20-30 мкм.

#### **Структурный анализ**

Проводят рентгеноструктурный анализ полученных лент. Идентифицируют аморфное состояние по наличию диффузного гало и отсутствию резких дифракционных пиков. Сравнивают с рентгенограммой кристаллического аналога.

#### **Исследование термической стабильности**

Выполняют ДСК-анализ при нагреве 20 K/мин. Определяют  $T_g$ ,  $T_x$ ,  $\Delta T$ . Рассчитывают энергию активации кристаллизации по методу Киссинджера. Проводят отжиг при температурах в интервале переохлаждённой жидкости.

#### **Определение механических свойств**

Измеряют микротвёрдость по Виккерсу при нагрузке 100 г. Проводят испытания на растяжение и определяют предел прочности. Исследуют характер излома.

### **Оформление отчёта**

Отчёт по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Рентгенограммы аморфного и кристаллического состояний
4. Термограммы ДСК
5. Результаты механических испытаний
6. Выводы о корреляции структуры и свойств

## **Практическая работа № 10. Неупорядоченные полупроводники. Жидкие полупроводники:**

Цель работы: исследовать температурную зависимость электропроводности халькогенидных стекол и жидких полупроводников, определить энергию активации проводимости и установить влияние неупорядоченности на электронные свойства.

#### Физико-химические основы процесса

Неупорядоченные полупроводники (халькогенидные стекла) и жидкие полупроводники характеризуются отсутствием дальнего порядка в атомной структуре. Электропроводность осуществляется посредством прыжкового механизма между локализованными состояниями. Температурная зависимость проводимости описывается уравнением:  $\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E/kT)$ , где  $\Delta E$  — энергия активации проводимости. В жидких полупроводниках при плавлении сохраняется полупроводниковый характер проводимости.

#### Экспериментальная методика и оборудование

Методика основана на измерении температурной зависимости удельного сопротивления четырёхзондовым методом. Используемое оборудование: печь с программируемым нагревом, милливольтметр, источник постоянного тока, термopapa. Образцы: стеклообразный  $As_2Se_3$ , расплавы  $Te$ .

#### Ход работы

##### Подготовка образцов

Синтезируют халькогенидное стекло  $As_2Se_3$  путём плавления элементов в запаянной кварцевой ампуле при  $800^\circ C$  с последующей закалкой в воде. Изготавливают образцы в виде пластин для измерений. Подготавливают образцы кристаллического теллура.

**Измерение проводимости твёрдых образцов**  
Закрепляют образец в измерительной ячейке, устанавливают четыре вольфрамовых зонда. Проводят нагрев образца со скоростью  $2^\circ C/мин$  в интервале  $25-300^\circ C$ . Измеряют напряжение и ток через каждые  $10^\circ C$ . Рассчитывают удельное сопротивление.

**Исследование жидких полупроводников**  
Помещают теллур в графитовый тигель, нагревают выше температуры плавления ( $452^\circ C$ ). Проводят измерения сопротивления в жидкой фазе до  $600^\circ C$ . Фиксируют изменение проводимости при фазовом переходе.

##### Обработка данных

Строят графики зависимости  $\ln(\sigma)$  от  $1/T$ . Определяют энергии активации проводимости для разных температурных областей. Анализируют изменение энергии активации при переходе через температуру плавления.

##### Оформление отчёта

Отчёт по практической работе должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Графики зависимостей  $\ln(\sigma) = f(1/T)$
4. Таблицы энергий активации
5. Выводы о механизмах проводимости

**Таблица 4. Критерии оценивания практических заданий**

Критерий оценивания	Результат
Задания выполнены в полном объеме.	3

Представлен письменный ответ Выявлены знания компетентности в рамках задания.	
Задания выполнены частично. Представлен письменный ответ Выявлены частичные знания компетентности в рамках задания.	2
Задания не выполнены. Не представлен письменный ответ Знания компетентности в рамках задания не выявлены.	0

**Таблица 4.1. Критерии оценивания заданий из вариативной части**

№	Вид работ	Min	Max
2.1	Реферат по дисциплине «Структура кристаллических и неупорядоченных систем»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

#### **Примерная тематика рефератов**

1. Основные концепции кристаллической решетки и типы Браве.
2. Дифракция рентгеновских лучей: принципы и применение для определения структуры.
3. Дефекты в кристаллических структурах: точечные, линейные и плоскостные.
4. Полиморфизм и аллотропия в кристаллах.
5. Неупорядоченные системы: аморфные материалы и стекла.
6. Фазовые переходы в кристаллических и неупорядоченных системах.
7. Нанокристаллы и наноструктуры: особенности структуры и свойства.
8. Методы характеристики структуры: электронная микроскопия и спектроскопия.
9. Кристаллизация и рост кристаллов: механизмы и контроль.
10. Неупорядоченные системы в биологии: структура белков и ДНК.
11. Квазикристаллы: структуры без трансляционной симметрии.
12. Структура жидкостей и переход в аморфное состояние.
13. Применение кристаллических структур в электронике: полупроводники и сверхпроводники.
14. Неупорядоченные системы в геологии: структура минералов и горных пород.
15. Компьютерное моделирование структуры: молекулярная динамика и Монте-Карло.

**Таблица 4.2. Критерии оценивания реферата**

Критерий оценивания	Результат
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания и	5 баллов

техническими требованиями оформления реферата; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические нарушения в представлении материала; корректно оформлены и в полном объёме представлены список использованной литературы и ссылки на использованную литературу в тексте реферата; реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен качественный анализ найденного материала, отсутствуют факты плагиата.	
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания реферата, но есть погрешности в техническом оформлении; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлены список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен качественный анализ найденного материала, отсутствуют факты плагиата.	4 балла
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; в целом реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания реферата, но есть погрешности в техническом оформлении; в целом реферат имеет чёткую композицию и структуру, но в тексте реферата есть логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлен список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; некорректно оформлены или не в полном объёме представлены ссылки на использованную литературу в тексте реферата; в целом реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен анализ найденного материала, отсутствуют факты плагиата.	3 балла
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; в реферате отмечены нарушения общих требований написания реферата; есть погрешности в техническом оформлении; в целом реферат имеет чёткую композицию и структуру, но в тексте реферата есть логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлен список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; некорректно оформлены или не в полном объёме представлены ссылки на использованную литературу в тексте реферата; в целом реферат представляет собой достаточно самостоятельное исследование, представлен анализ найденного материала, присутствуют единичные случаи фактов плагиата.	2 балла

### Образцы тестовых заданий текущего контроля ПК-1; ПК-3

1. Что такое элементарная ячейка в кристаллографии?
  - а) Минимальный объем кристалла с повторяющимися свойствами.
  - б) Только поверхность кристалла.
  - в) Случайное расположение атомов.
  - г) Полная аморфная структура.
  
2. Сколько пространственных групп существует в кристаллографии?
  - а) 7.
  - б) 14.
  - в) 32.
  - г) 230.

3. Какой метод используется для определения структуры кристаллов с использованием электронов?
  - а) Рентгеновская дифракция.
  - б) Электронная дифракция.
  - в) Ультразвуковой анализ.
  - г) Оптическая микроскопия.
4. Что такое дислокация в кристаллической структуре?
  - а) Точечный дефект, как вакансии.
  - б) Линейный дефект, нарушающий порядок плоскостей.
  - в) Граница зерна.
  - г) Полная аморфизация.
5. Что такое квазикристаллы?
  - а) Кристаллы без симметрии.
  - б) Упорядоченные структуры с запрещенными в классической кристаллографии симметриями (например, пятиугольной).
  - в) Только аморфные материалы.
  - г) Неупорядоченные жидкости.
6. Какая особенность отличает стекла от кристаллов?
  - а) Дальний порядок.
  - б) Отсутствие дальнего порядка при наличии ближнего.
  - в) Полная хаотичность.
  - г) Только поверхностные свойства.
7. Что такое фазовый переход второго рода?
  - а) Скачкообразное изменение с теплотой.
  - б) Только плавление.
  - в) Непрерывное изменение свойств без скачка (например, ферромагнитный переход).
  - г) Переход в аморфное состояние.
8. Какой тип дефектов преобладает в неупорядоченных системах, таких как сплавы?
  - а) Только точечные.
  - б) Только объемные.
  - в) Отсутствие дефектов.
  - г) Сочетание точечных и линейных.
9. Что такое дифракционный пик в рентгеноструктурном анализе?
  - а) Шум от прибора.
  - б) Только фоновый сигнал.
  - в) Измерение температуры.
  - г) Максимум интенсивности, соответствующий межплоскостным расстояниям.
10. Какой метод анализа подходит для изучения неупорядоченных систем на атомном уровне?
  - а) Оптическая спектроскопия.
  - б) Нейтронная дифракция.
  - в) Ультразвуковой анализ.
  - г) Макроскопическая механика.



11. Что такое ближний порядок в неупорядоченных системах?
    - а) Упорядочение на расстояниях до нескольких атомов.
    - б) Полный хаос.
    - в) Только дальний порядок.
    - г) Поверхностные эффекты.
  12. Какой тип фазового перехода наблюдается при плавлении кристалла?
    - а) Первый род (с теплотой).
    - б) Второй род (непрерывный).
    - в) Только в аморфных системах.
    - г) Без изменения структуры.
  13. Что такое антиферромагнетизм в упорядоченных системах?
    - а) Параллельное выстраивание спинов.
    - б) Чередующееся выстраивание спинов (вверх-вниз).
    - в) Отсутствие магнитного порядка.
    - г) Только в неупорядоченных материалах.
  14. Какой метод используется для определения размера зерен в поликристаллах?
    - а) Рентгеновская дифракция.
    - б) Только электронная микроскопия.
    - в) Ультразвуковой анализ.
    - г) Оптическая микроскопия.
  15. Что такое топологический порядок в кристаллических системах?
    - а) Пространственная симметрия.
    - б) Только в аморфных материалах.
    - в) Защищенный от дефектов порядок, связанный с топологией (например, в топологических изоляторах).
    - г) Полная неупорядоченность.
- Правильный ответ: В.

**Таблица 4.3. Критерии оценивания тестирования**

Критерий	Баллы
Зачтено, более 40 % или равно 40% ответов правильных	10
Не зачтено, менее 40 % ответов правильных	0
Итого	0-10

## **5. Содержание оценочных средств промежуточной аттестации**

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

Форма проведения экзамена: устный ответ на два вопроса в билете.

Перечень вопросов и критерии оценивания ответов на вопросы в билете по темам дисциплины.

Перечень вопросов для подготовки к экзамену:

Компетенции: ПК-1.

1. Особенности кристаллического состояния.
2. Кристаллографические символы узловых плоскостей и прямых.
3. Плотнейшие упаковки шаров. Примеры кристаллических структур.

4. Методы определения атомной структуры твердых тел.
5. Дефекты в кристаллических структурах.
6. Несовершенства строения реальных кристаллов. Дислокации. Типы и различные подходы в описании дефектов.
7. Влияние дислокаций на электрические и магнитные свойства кристаллов.
8. Контур и вектор Бюргерса. Движение и взаимодействия дислокаций. Источники дислокаций.
9. Дефекты упаковки и частичные дислокации.
10. Образование механических двойников на физические свойства твердых тел.
11. Влияние электрических и магнитных полей на образование двойников в кристаллах.
12. Влияние границ зерен на фазовые переходы в сегнетоэлектриках.
13. Влияние границ зерен на физические свойства в тонких пленках.
14. Теория и модели роста кристаллов.
15. Теория послойного роста кристаллов.

Компетенции: ПК-3

1. Выращивание эпитаксиальных пленок.
2. Выращивание монокристаллов из расплавов.
3. Выращивание монокристаллов из растворов.
4. Выращивание кристаллов из паров.
5. Кристаллизация из твердого состояния.
6. Аморфное состояние. Общие закономерности аморфизации и кристаллизации. Кристаллическая скорость охлаждения.
7. Структуры и дефекты в сегнетоэлектриках. Мезопористые наноматериалы и дефекты в них.
8. Дефекты в сложных неорганических системах. Керамические материалы.
9. Аморфные металлические сплавы. Методы получения. Дефекты в аморфных материалах.
10. Аморфные полупроводники. Топологические дефекты.
11. Неупорядоченные полупроводники.
12. Стеклообразные полупроводники.
13. Жидкие полупроводники.
14. Пьезоэлектрические и оптические структуры.

**Таблица 5. Критерии оценивания промежуточной аттестации в форме экзамена**

Критерий оценивания	Баллы
Обучающийся ответил на два вопроса в билете. Продemonстрировал знания по формируемым компетенциям в полном объеме (приводились доводы и объяснения). Знания освоения компетенций выявлены.	30 баллов
Обучающийся ответил на один вопрос в билете. Продemonстрировал знания по формируемым компетенциям частично. Постиг смысл изучаемого материала (может высказать вербально, четко и ясно, или конструировать новый смысл, новую позицию). Знания освоения компетенций выявлены частично.	15 баллов
Обучающийся не ответил на вопросы в билете. Не может согласовать свою позицию или действия относительно обсуждаемой тематики. Знания освоения компетенций не выявлены.	0