

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**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

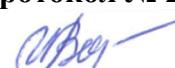
Направленность (профиль)
«Физические исследования инновационных материалов»

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 ПК-3	Устная защита выполнения практических работ №1, №2, №3
2	Дефектообразование кристаллах	ПК-1 ПК-3	Устная защита выполнения практических работ №4, №5, №6
	Текущий контроль успеваемости (ТКУ)	ПК-1 ПК-3	Тест в Moodle
3	Неупорядоченные системы. Аморфное, стеклообразное состояние	ПК-1 ПК-3	Устная защита выполнения практических работ №7
4	Аморфные металлические сплавы. Неупорядоченные полупроводники	ПК-1 ПК-3	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	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-3	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
	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. Изучение геометрии кристаллов.	2	3
1.1.2	Практическая работа № 2. Исследование теории роста кристаллов.	2	3
1.1.3	Практическая работа № 3. Анализирование методов исследования структуры кристаллов.	2	3
1.1.4	Практическая работа № 4. Исследование пластической деформации кристаллов.	2	3
1.1.5	Практическая работа № 5. Изучение типов дефектов в кристаллах.	2	3
1.1.6	Практическая работа № 6. Исследование дислокаций и двойникования.	2	3

	Практическая работа № 7. Изучение поверхности раздела в кристаллах. Свойства несовершенных кристаллов	2	3
	Практическая работа № 8. Анализ аморфного, стеклообразного состояния	2	3
	Практическая работа № 9. Изучение аморфных металлов	2	3
	Практическая работа № 10. Исследование неупорядоченных полупроводников. Жидкие полупроводники	2	3
Итого баллов по обязательной части		20	40
2. Вариативная часть			
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. Изучение геометрии 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.), транспортир, 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. Исследование теории роста 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 реагенты: медный купорос, дистиллированная вода.

Ход работы

Приготовление пересыщенного раствора

В химический стакан помещают 100 г дистиллированной воды и нагревают на термостате до 70°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°C/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. Анализирование методов 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-Бульфа: $2d \sin\theta = n\lambda$, где d - межплоскостное расстояние, θ - угол скольжения, λ - 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_2). Основные реагенты:

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 $20\text{--}80^\circ 2\theta$. Аналогичным образом получают рентгенограммы эталонных образцов NaCl и SiO₂.

Индицирование рентгенограмм и идентификация фаз

На полученных рентгенограммах измеряют положения дифракционных максимумов и рассчитывают межплоскостные расстояния по уравнению Брэгга-Бульфа. 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. Исследование пластической деформации кристаллов:

Цель работы: исследовать механизм пластической деформации монокристаллов и поликристаллических материалов, изучить явление наклена 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 наклена (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 наклена

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 наклена

Практическая работа № 5. Изучение типов 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. Исследование дислокации и двойникования:

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 \times , 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 двойникованного материала и углы двойникования. Сравнивают микротвердость в двойниковых 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 двойникования в пластической деформации

Практическая работа № 7. Изучение 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 двойникования, 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. Струят 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. Анализ аморфного, стеклообразного состояния:

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°C/мин в интервале 25-150°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°C/мин. Странят 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 . Странят 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. Изучение аморфных металлов:

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 ($>10^5$ К/с). 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 (Fe78B12Si10). 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 К/мин. Определяют T_g , T_x , ΔT . 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. Исследование неупорядоченных полупроводников. 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 ΔE — 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, термопара. 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 $2^{\circ}C/\text{мин}$ 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 энергию 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. Представлен письменный ответ Выявлены знания компетентности в рамках задания.	3

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 характеризации 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 техническими требованиями оформления реферата; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические	5 баллов

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 plagiarismа.	
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 plagiarismа.	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 plagiarismа.	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 plagiarismа.	2 балла

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

1. Что такое элементарная ячейка в кристаллографии?
 - a) 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 вакансия.
 - 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) Зашитенный 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 засчитано, 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 epitаксиальных 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. Продемонстрировал знания по формируемым компетенциям в полном объеме (приводились доводы и объяснения). Знания освоения компетенций выявлены.	30 баллов
Обучающийся ответил на один вопрос в билете. Продемонстрировал 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