

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета РТЭ _____ Небольсин В.А.
«27» марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Структурные методы исследования»

Направление подготовки 16.03.01 Техническая физика

Профиль Физическая электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2024

Автор программы

/Костюченко А.В. /

Заведующий кафедрой
Твердотельной электроники

Небольсин В.А.

Руководитель ОПОП

Янченко Л.И.

Воронеж 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины – формирование у обучаемых знаний и навыков в области анализа структуры и субструктуры конденсированных твердых тел

1.2. Задачи освоения дисциплины

Формирование у студентов знаний о принципиальных основах и возможностях современных методов исследования структуры материалов; ознакомление с аппаратным оснащением методов исследования материалов; формирование практических навыков по исследованию структуры материалов; освоение расчетных методик, используемых для обработки и анализа экспериментальных данных исследования материалов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Структурные методы исследования» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Структурные методы исследования» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик материалов, приборов, схем и устройств физической электроники различного функционального назначения

ПК-5 - Контроль параметров материалов, узлов и устройств физической электроники

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать физические принципы и возможности методов исследования структуры и субструктуры материалов
	уметь выбирать режимы работы исследовательского оборудования для изучения конкретных структурных параметров объекта
	владеть навыками работы на исследовательском оборудовании, используемом в методах анализа и контроля структуры и субструктуры материалов
ПК-5	знать влияние структурных параметров на функциональные характеристики материалов электроники
	уметь проводить анализ результатов, полученных экспериментальными методами исследования структуры

	владеть навыками проведения структурных испытаний материалов электроники
--	--

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Структурные методы исследования» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	78	78
В том числе:		
Лекции	48	48
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
Самостоятельная работа	75	75
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Структура и объекты изучения дисциплины. Понятие структуры материалов. Общие характеристики методов изучения, анализа и диагностики материалов. Основные методы исследования структуры: рентгенография, электронография, нейтронография, сканирующая микроскопия. Границы применимости методов.	2	-	-	3	5
2	Основы дифракционных методов исследования структуры материалов	Обратная решетка, связь между прямой и обратной решетками. Кинематическая теория рассеяния, основные положения кинематической теории рассеяния и область ее применения. Вектор и угол рассеяния. Атомная функция рассеяния. Когерентное рассеяние атомом. Межплоскостные расстояния. Запрещенные узлы обратной решетки.	4	2	-	6	12

		Рассеяние на объектах с периодической структурой. Уравнение дифракции Лауэ. Формула Вульфа-Брегга. Построение Эвальда. Методы выведения узлов обратной решетки на сферу отражения. Рассеяние непримитивной элементарной ячейкой, структурный фактор. Рассеяние поликристаллами, аморфными телами. Рассеяние нанокристаллическими материалами. Эффект формы кристаллов в рассеянии излучения. Динамическая теория рассеяния.					
3	Рентгеновские методы исследования структуры материалов	Спектры рентгеновского излучения: сплошной спектр, характеристический спектр. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Истинное атомное поглощение. Рассеяние рентгеновских лучей: когерентное и некогерентное. Дифракция рентгеновских лучей. Способы регистрации рентгеновского излучения. Рентгеновская дифрактометрия поликристаллов. Конструкция дифрактометров. Геометрия рентгенограмм и интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах поликристаллов. Индицирование рентгенограмм. Возможности количественного и качественного анализа. Рентгенографический анализ уширения дифракционных линий. Оценка размеров нанокристаллов. Основы метода Лауэ и геометрия интерференционной картины. Применение метода Лауэ: определение ориентировки монокристаллов; определение сингонии кристалла; определение качества кристалла. Основы метода вращения монокристалла. Индицирование рентгенограмм вращения. Аппаратура для получения лауэграмм и рентгенограмм вращения.	16	6	4	24	50
4	Просвечивающая электронная микроскопия	Основные принципы ПЭМ. Устройство электронного микроскопа. Дефекты линз просвечивающих электронных микроскопов: сферическая абберрация, хроматическая абберрация, дифракция на апертуре, астигматизм. Упругое рассеяние и дифракция быстрых электронов на	14	6	4	20	44

		кристаллических объектах. Электронограммы: построение и индцирование. Размерный эффект: влияние размеров и формы кристаллов на форму узла обратной решетки. Двойная дифракция. Электронограммы сдвойникованных кристаллов. Дифракционный контраст электронно-микроскопического изображения. Амплитудный контраст. Контраст изображения совершенного кристалла. Применение темнопольного анализа для кристалла. Исследование дефектов кристаллической решетки. Контраст изображения кристалла с дефектами упаковки. Контраст на дислокациях. Фазовый контраст. Периодические изображения кристаллической решетки: электронномикроскопический муар, прямое разрешение плоскостей разделения текстур и фаз. Применение метода муара для выявления дефектов структуры кристаллической решетки.					
5	Сканирующая электронная микроскопия	Основные физические принципы сканирующей электронной микроскопии. Конструкция сканирующего электронного микроскопа. Формировании электронного зонда. Детекторы вторичных сигналов. Формирование контраста в РЭМ. Принципы электронно-зондового микроанализа. Закон Мозли. Методы анализа рентгеновского спектра. Типы рентгеновских микроанализаторов.	8	2	-	12	22
6	Сканирующая зондовая микроскопия	Возможности и область применения сканирующей зондовой микроскопии. Основные принципы работы и устройство сканирующих зондовых микроскопов. Атомно-силовая микроскопия. Туннельная микроскопия. Ближнепольная оптическая зондовая микроскопия. Магнитно-и электросиловая микроскопия.	4	2	4	10	20
Итого			48	18	12	75	153

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение фазового состава и структуры материалов методом рентгеновской дифрактометрии.
2. Исследование кристаллической структуры и фазового состава тонких пленок методом электронографии.
3. Анализ морфологии поверхности материалов методами сканирующей зондовой микроскопии.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	знать физические принципы и возможности методов исследования структуры и субструктуры материалов	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбрать методику и режимы исследования конкретных структурных параметров объекта	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками работы на исследовательском оборудовании, используемом в методах анализа и контроля структуры и субструктуры материалов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; получение данных по результатам исследования материалов с помощью соответствующего оборудования структурного анализа	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	знать влияние структурных параметров на функциональные характеристики материалов электроники	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить анализ результатов, полученных методами исследования структуры	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	владеть навыками проведения структурных испытаний материалов электроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; получение данных по результатам исследования материалов с помощью соответствующего оборудования структурного анализа	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
--	--	--	---	---

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-2	знать физические принципы и возможности методов исследования структуры и субструктуры материалов	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 55-70%	В тесте менее 55% правильных ответов
	уметь выбирать режимы работы исследовательского оборудования для изучения конкретных структурных параметров объекта	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками работы на исследовательском оборудовании, используемом в методах анализа и контроля структуры и субструктуры материалов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	знать влияние структурных параметров на функциональные характеристики материалов электроники	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 55-70%	В тесте менее 55% правильных ответов
	уметь проводить анализ результатов, полученных методами исследования структуры	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	владеть навыками проведения структурных испытаний материалов электроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
--	--	--	--	---	--	------------------

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

В каждом вопросе выберите 1 вариант ответа

1. Порядок длины волны рентгеновского излучения, генерируемого в рентгеновской трубке дифрактометра, составляет

- 10^{-8} м,
- 10^{-10} м
- 10^{-6} м
- 10^{-3} м

2. Длина волны характеристического спектра зависит от

- Величины, подаваемого на рентгеновскую трубку напряжения
- Величины тока, протекающего через рентгеновскую трубку
- Порядкового номера (в таблице Менделеева) вещества анода
- Всех перечисленных выше факторов

3. Геометрия съемки по Бреггу-Брентано предполагает

- расположение образца на окружности гониометра
- расположение образца в центре гониометра
- расположение образца вне окружности гониометра
- перемещение образца от центра к окружности гониометра

4. Угловая ширина дифракционного пика зависит от

- энергии излучения
- размеров кристаллитов
- соотношения аморфной и кристаллической фаз
- толщины образца

5. Электронограмма от однофазного поликристаллического образца без текстуры будет иметь вид

- Системы точечных максимумов
- Системы концентрических колец с интенсивностями, соответствующими табличной.
- Системы неполного по количеству и отличного по интенсивности от табличного набора концентрических колец
- Системы точечных максимумов и неполного по сравнению с табличным набора концентрических колец

6. В каких лучах формируется светопольное ПЭМ-изображение

- В дифрагированных
- В прямых

- В совокупности прямого пучка и дифрагированных

7. В растровом электронном микроскопе для анализа структуры поверхности используют электронный зонд с энергией электронов

- 0,1-30 кэВ
- 1-30 эВ
- 0,1 -1 МэВ
- 0,1-1 эВ

8. Детекция какого излучения позволяет получать максимальное разрешение вдоль поверхности образца:

- Тормозного рентгеновского излучения
- Вторичных электронов
- Отраженных электронов
- Характеристического рентгеновского излучения

9. Какой тип излучения используют в рентгеноспектральном анализе?

- катодоллюминесценция
- тормозное рентгеновское излучение
- характеристическое рентгеновское излучение
- инфракрасное излучение

10. Что характеризует шероховатость поверхности?

- Линейные размеры неоднородностей вдоль поверхности
- Линейные размеры неоднородностей в нормальном к поверхности направлении
- Объем неоднородностей
- Площадь поверхности неоднородностей

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Постройте электронограмму для ГЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [111].

2. Постройте электронограмму для ГЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [211].

3. Постройте электронограмму для ГЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [201].

4. Постройте электронограмму для ОЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [110].

5. Постройте электронограмму для ОЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [211].

6. Постройте электронограмму для ГЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [103].

7. Постройте электронограмму для ОЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [103].

8. Постройте электронограмму для ГЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [311].

9. Постройте электронограмму для ОЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [311].

10. Постройте электронограмму для ОЦК кристалла ориентации, параллельной электронному пучку осью [321].

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. По совокупности светлопольного и темнопольных ПЭМ изображений нанопорошка (рис. 1) оценить средний размер нанозерен.

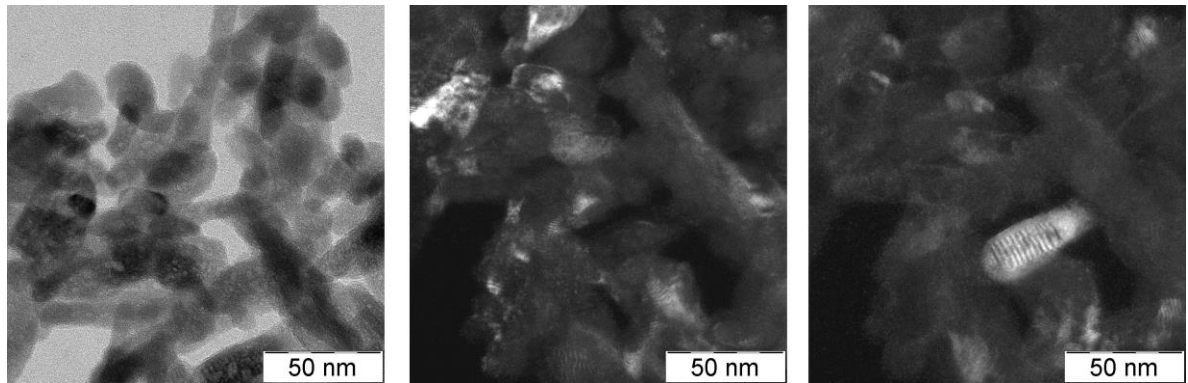


Рис. 1 Светлопольное и темнопольные изображения порошка гидроксиапатита

2. По рентгеновской дифрактограмме порошка (рис. 2) определить фазовый состав (элементный состав порошка представлен Cu и O, длина волны рентгеновского излучения $\lambda_{K1}=0,154$ нм).

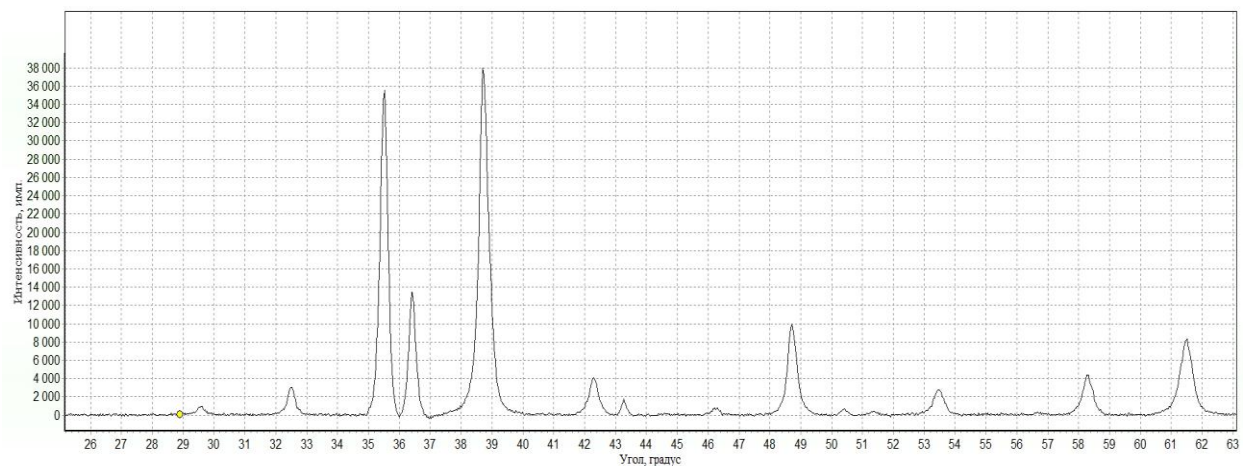


Рис. 2 Рентгеновская дифрактограмма нанокристаллических порошков, включающих Cu и O

3. По рентгеновской дифрактограмме (рис. 2) определить размер областей когерентного рассеяния по выбранному преподавателем максимумам.

4. Рассчитайте постоянную электронографа по электронограмме MgO (рис. 3). (Масштабная шкала отражает размеры электронограммы на фотопленке)

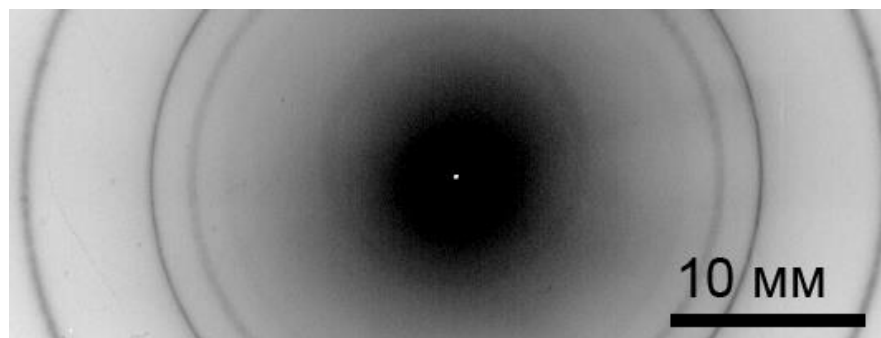


Рис. 3 Электронограмма пленки MgO

5. Проведите фазовый анализ электронограммы (рис. 4) пленки, в составе которой присутствуют следующие элементы: Li, Nb, O. (Масштабная шкала отражает размеры электронограммы на фотопленке, постоянная электронографа равна 64).

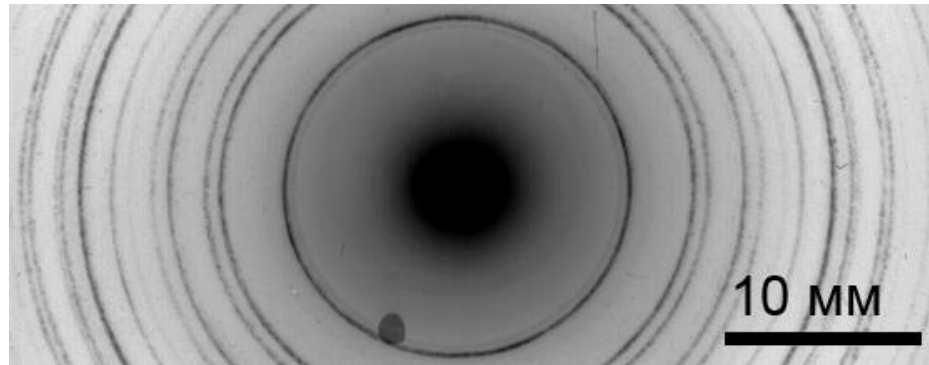


Рис. 4 Электронограмма пленки, состоящей из Li, Nb, O

6. По представленным на рис. 5 рентгеновским дифрактограммам ($\lambda_{K1}=0,154$ нм) образцов № 1 и 2 керамики гидроксиапатита (структурная формула $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) сделайте обоснованный вывод, какой из образцов был подвергнут длительному термическому отжигу при температуре, превышающей 0,4 от температуры плавления, при условии, что исходные образцы имели одинаковую зеренную структуру.

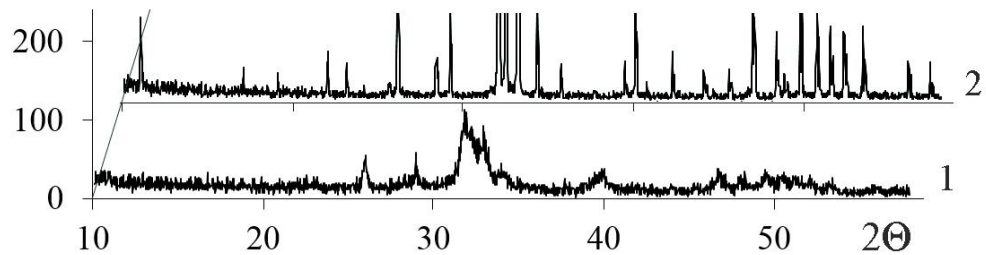


Рис. 5 Рентгеновские дифрактограммы образцов керамики гидроксиапатита

7. По данным СЗМ (рис. 6) определите, в каком режиме получено изображение методом туннельной микроскопии: в режиме постоянного тока или в режиме постоянной высоты? Оцените период кристаллической решетки пиролитического графита.

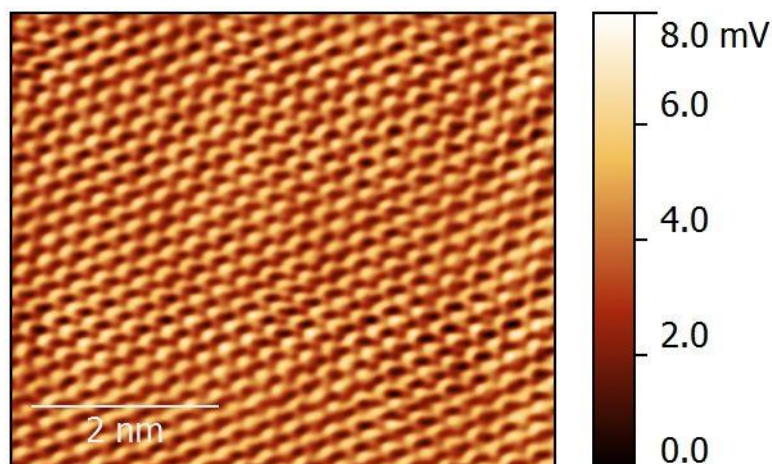


Рис.6 СЗМ-изображение поверхности пиролитического графита

8. По данным просвечивающей электронной микроскопии укажите, каким ПЭМ-изображениям (3 и 4) соответствуют электронограммы 1 и 2. Обоснуйте выбор.

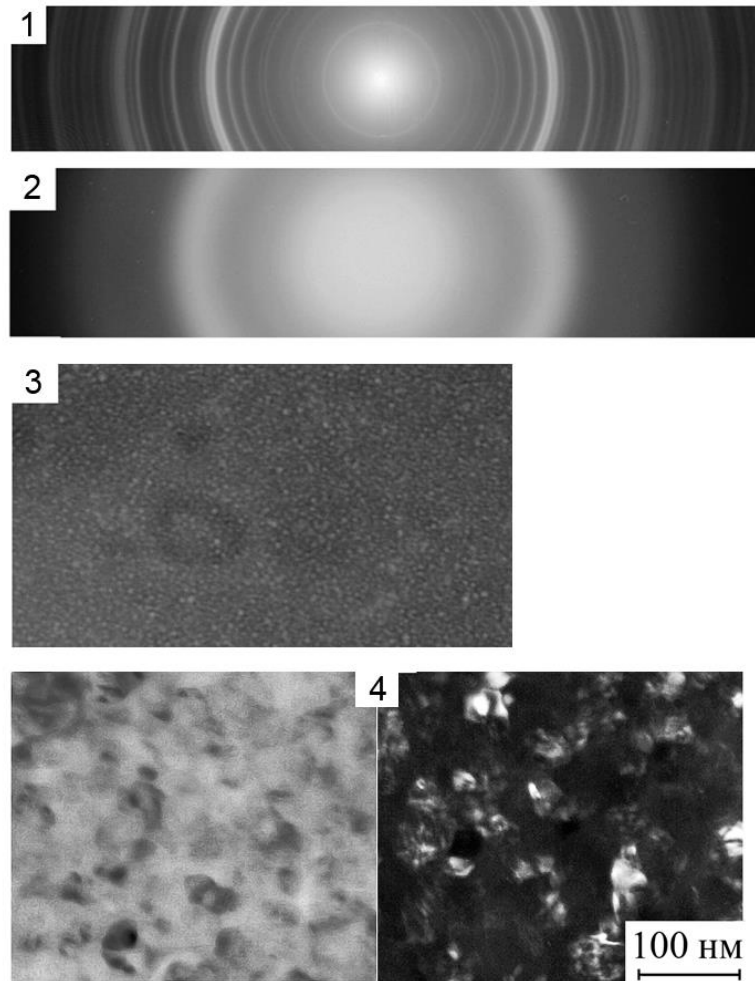


Рис.7 Электронограммы (1, 2) и ПЭМ-изображения (3, 4) двух образцов материала одинакового элементного состава.

9. Опишите структуру двух материалов с одинаковым элементным составом, электронограммы от которых представлены на рис.7(1) и рис.7(2).

10. Сделайте оценочный расчет шероховатости поверхности образца по данным атомно-силовой микроскопии (рис. 8)

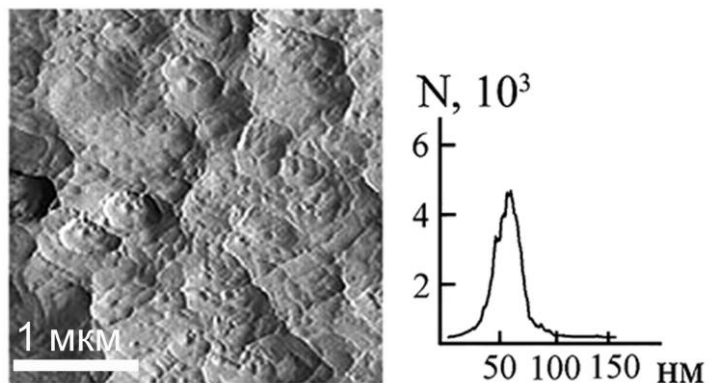


Рис. 8 АСМ-скан и гистограмма распределения высот поверхности керамического материала.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Природа рентгеновского излучения. Источники и детекторы рентгеновских лучей.
2. Типы рентгеновского излучения (тормозное, характеристическое)
3. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Рассеяние рентгеновских лучей: когерентное и некогерентное.
4. Дифракция рентгеновских лучей. Уравнение дифракции Лауэ.
5. Уравнение Вульфа-Брегга. Сфера Эвальда
6. Основы метода Лауэ и геометрия интерференционной картины. Применение метода Лауэ: определение ориентировки монокристаллов; определение сингонии кристалла.
7. Основы метода вращения монокристалла.
8. Рентгеновская дифрактометрия поликристаллов. Конструкция дифрактометров. Геометрия рентгенограмм и интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах поликристаллов.
9. Фазовый анализ материалов. Индексирование рентгенограмм. Идентификация вещества по данным межплоскостных расстояний.
10. Возможности количественного фазового анализа. Метод корундовых чисел. Рентгенографический анализ уширения дифракционных линий. Оценка размеров кристаллитов в поликристаллических материалах.
11. Основные принципы ПЭМ. Устройство электронного микроскопа.
12. Упругое рассеяние и дифракция быстрых электронов на кристаллических объектах.
13. Образцы для ПЭМ. Методы пробоподготовки
14. Взаимодействие электронов с материалом. Упругое и неупругое рассеяние.
15. Дифракция быстрых электронов на кристаллических объектах. Электронограммы: построение и индексирование.
16. Двойная дифракция.
17. Дифракционный контраст электронно-микроскопического изображения. Амплитудный контраст. Контраст изображения совершенного кристалла.
18. Амплитудный контраст в исследовании дефектов кристаллической решетки.
19. Фазовый контраст. Периодические изображения кристаллической решетки: электронномикроскопический муар, прямое разрешение плоскостей кристаллической решетки.
20. Устройство и принцип работы растрового электронного микроскопа.
21. Формирование изображения в растровом электронном микроскопе.
22. Подготовка образцов к исследованию методом растровой электронной микроскопии.
23. Принцип и возможности рентгеноспектрального микроанализа.
24. Возможности и область применения сканирующей зондовой микроскопии. Основные принципы работы и устройство сканирующих зондовых микроскопов.
25. Атомно-силовая микроскопия.
26. Туннельная микроскопия.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и 2 задачи. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов (2 балла за верный ход решения (рассуждения) и 3 балла за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-2, ПК-5	Тест
2	Основы дифракционных методов исследования структуры материалов	ПК-2, ПК-5	Тест
3	Рентгеновские методы исследования структуры материалов	ПК-2, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
4	Просвечивающая электронная микроскопия	ПК-2, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
5	Сканирующая электронная микроскопия	ПК-2, ПК-5	Тест.
6	Сканирующая зондовая микроскопия	ПК-2, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ.

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 15 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 15 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 20 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется

оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. В.В. Ожерельев, А.В. Костюченко, С.В. Канныкин, А.И. Донцов. Методы исследования структуры твердых тел: учебное пособие. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2021.

2. Свистова, Т.В. Методы исследования материалов и структур электроники : учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. - 225 с.

3. Газенаур, Е. Г. Методы исследования материалов / Газенаур Е.Г., Кузьмина Л.В., Крашенинин В.И. - Москва : КемГУ (Кемеровский государственный университет), 2013. - ISBN 978-5-8353-1578-9. URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=44317

4. Филимонова, Н. И. Методы электронной микроскопии : учебное пособие / Н. И. Филимонова, А. А. Величко, Н. Е. Фадеева. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 61 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/69545.html>

5. Машиностроение : Энциклопедия : в 40 т. Разд. 2 : Материалы в машиностроении. Т. 2-1 : Физико-механические свойства. Испытания металлических материалов / [Л. В. Агамиров, М. А. Алимов, Л. П. Бабичев и др.] ; ред.-сост. Е. И. Мамаев ; отв. ред. Е. Т. Долбенко ; ред. Г. Г. Мухин [и др.] / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) [и др.]. - Москва : Машиностроение, 2010. - 852 с.

6. Лукин, А.А. Рентгенография металлов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (18.1Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 1 файл.

7. Методы исследования атомной структуры и субструктуры материалов : учеб. пособие. - Воронеж : ВГТУ, 2001. - 446 с.

8. Методы исследования атомной структуры и субструктуры материалов : учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - Воронеж : ВГТУ, 2003. - 484 с.

9. Иевлев В.М. Просвечивающая электронная микроскопия неорганических материалов : учеб. пособие. - Воронеж : ВГТУ, 2003. - 163 с.

10. Миронов В. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учеб. пособие. - М. : Техносфера, 2004. - 144 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- Программа обработки результатов сканирующей туннельной микроскопии «Image_Analysis_P9»;

- База межплоскостных расстояний «Powder Diffraction File Alphabetical Index Inorganic Compounds»;
- Microsoft Office Word 2013/2007;
- Microsoft Office Excel 2013/2007;

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Укажите материально-техническую базу

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

Учебно-научная лаборатория просвечивающей электронной микроскопии и электронографии.

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами.

Натурные лекционные демонстрации:

- Рентгеновский дифрактометр,
- Сканирующий зондовый микроскоп,
- Электронограф,
- Просвечивающий электронный микроскоп,
- Сканирующий электронный микроскоп.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Структурные методы исследования» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета структурных параметров материалов: параметров кристаллической решетки, параметров рельефа поверхности, фазового состава. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и

	видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.