

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

В.А. Небольсин

«31» августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины  
«Методы анализа и контроля  
наноструктурированных материалов и систем»

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2018

Автор программы

/Костюченко А.В./

И.о. заведующего кафедрой  
Физики твердого тела

/Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП

/Стогней О.В./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цель дисциплины** – формирование у обучающихся знаний и навыков в области экспериментальных высоколокальных методов исследования состава, структуры, электрофизических и оптических свойств наноматериалов и наносистем

**1.2. Задачи освоения дисциплины** – формирование у обучающихся знаний о принципиальных основах и возможностях современных методов исследования структурных параметров, влияющих на размерно-зависимые физические свойства материалов; ознакомление с аппаратурным 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 «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-3 - Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-3	знать физические принципы основных экспериментальных высоко-локальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нано- и микросистем, условия реализации и границы применения этих методов
	уметь выбирать оптимальные методы исследования и диагностики требуемых свойств нано- и микросистем
	владеть навыками применения современных методов исследования материалов и компонентов нано и микросистем, интерпретации экспериментальных данных

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	144	144
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 исследования предмета Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем, понятия и термины. Общие характеристики методов изучения, анализа и диагностики наноматериалов. Границы применимости методов.	2	-	-	2	4
2	Рентгеновские методы исследования структуры наноматериалов	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. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей. Анализ структуры многослойных материалов.	10	4	4	16	34

3	Просвечивающая электронная микроскопия	<p>Основные принципы ПЭМ. Устройство электронного микроскопа. Дефекты линз просвечивающих электронных микроскопов: сферическая aberrация, хроматическая aberrация, дифракция на апертуре, астигматизм.</p> <p>Упругое рассеяние и дифракция быстрых электронов на кристаллических объектах. Электронограммы: построение и индцирование. Размерный эффект: влияние размеров и формы кристаллов на форму узла обратной решетки. Двойная дифракция. Электронограммы сдвойникованных кристаллов.</p> <p>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.</p>	10	6	6	18	40
4	Растровая электронная микроскопия	<p>Основные физические принципы растровой электронной микроскопии. Конструкция растрового 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.</p>	4	4	-	12	20
5	Сканирующая зондовая микроскопия	<p>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.</p>	4	2	4	10	20
6	Спектроскопические методы исследования	<p>Оптическая спектроскопия: электронная абсорбционная спектроскопия и спектроскопия отражения, спектроскопия кругового дихроизма и магнитного кругового дихроизма. Колебательная и вращательная спектроскопия: инфракрасная адсорбционная и отражательная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света, спектроскопия</p>	4	2	4	8	18

		<p>характеристических потерь электронов. Эллипсометрия.</p> <p>Оптические методы исследования квантовых точек: Изучение энергетической структуры электронных возбуждений. Исследование фононных и электрон-фононных состояний квантовых точек. Исследование динамики элементарных возбуждений квантовых точек. Оптическая спектроскопия одной квантовой точки.</p> <p>ИК-спектрометр. Источники ИК-излучения, приемники ИК-излучения. Теоретические основы инфракрасной спектроскопии. Гармонические колебания. Ангармонические колебания. Колебания многоатомных молекул. Основные области инфракрасного спектра. Особенности техники ИК-эксперимента. Анализ ИК-спектров.</p> <p>Электронная Оже-спектроскопия. Физические основы ОЭС. Форма оже-электронных спектров. Интенсивность спектральных линий оже-электронов. Использование метода ОЭС в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Самостоятельное изучение. Аппаратура для ОЭС. Определение структуры приповерхностных слоев материала с помощью ОЭС.</p>					
7	Ядерно-физические методы исследования наноструктур	<p>Мессбауэровская (гамма-резонансная) спектроскопия (МС): Адсорбционная и эмиссионная МС. Релевское рассеяние мессбауэровского излучения. МС конверсионных электронов. Временная МС резонансного рассеяния вперед. Неупругое ядерное резонансное рассеяние. Применение мессбауэровской спектроскопии для исследования высокодисперсных веществ. Магнитное расщепление мессбауэровских спектров. Мессбауэровская спектроскопия на ядрах примесных атомов .</p> <p>Методы радиоспектроскопии: ядерный магнитный резонанс (ЯМР) Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Введение в магнитный резонанс. Физические основы метода ЭПР. Дополнительная информация, заключенная в спектрах ЭПР. Применение ЭПР для исследования структуры и динамики наноразмерных систем. ЯМР и ЯКР спектроскопия твердого тела. Применение методов ЯМР в исследованиях наночастиц</p> <p>Методы ионной спектроскопии. Обратное резерфордское рассеяние. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами. Упругие столкновения. Потери энергии при неупругих столкновениях. Физические</p>	2	-	-	6	8

		основы метода Резерфордского обратного рассеяния ионов. Аналитические возможности метода. Рассеяния частиц на большой угол на глубине и на поверхности.					
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>144</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Укажите перечень лабораторных работ

1. Определение размера частиц нанопорошка методом рентгеновской дифрактометрии.
2. Исследование структуры и субструктуры наноструктурных материалов методом просвечивающей электронной микроскопии.
3. Исследование морфологии поверхности нанопористых оксидов методом атомно-силовой микроскопии
4. Исследование морфологии и химического состава наноструктурированных материалов методом растровой электронной 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
ОПК-3	знать физические принципы основных экспериментальных высоколокальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нано- и микросистем, условия реализации и границы применения этих методов	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбирать оптимальные методы исследования и диагностики требуемых	Решение стандартных практических и теоретических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	свойств нано- и микросистем			
	владеть навыками применения современных методов исследования материалов и компонентов нано и микросистем, интерпретации экспериментальных данных	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; проведение диагностики структурных и физических параметров материалов	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.
ОПК-3	знать (переносится из раздела 3 рабочей программы)	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь (переносится из раздела 3 рабочей программы)	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 (переносится из раздела 3 рабочей программы)	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. Угловая ширина дифракционного пика зависит от

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

3. 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

4. В каких лучах формируется светлопольное ПЭМ-изображение

- В дифрагированных
- В прямых
- В совокупности прямого пучка и дифрагированных

5. 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

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

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

7. Какой тип излучения используют в рентгеноспектральном анализе?

- катодолюминесценция
- тормозное рентгеновское излучение
- характеристическое рентгеновское излучение
- инфракрасное излучение

8. Рентгеноспектральный анализ материалов позволяет исследовать

- рельеф поверхности
- тип проводимости

- элементный состав
- фазовый состав

9. Что характеризует шероховатость поверхности?

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

10. В чем принципиальное различие методов сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии?

- в атомно-силовом микроскопе отслеживается непосредственно рельеф поверхности на атомном уровне, а в сканирующей туннельной микроскопии измеряется туннельный ток между острием прибора и поверхностью
- туннелирование электронов в случае атомно-силовой микроскопии происходит при гораздо меньшей разности потенциалов
- измерения методом сканирующей туннельной микроскопии должны проводиться в вакууме, а методом атомно-силовой микроскопии возможно и при атмосферном давлении
- в методе сканирующей туннельной микроскопии используется металлический зонд, а в методе атомно-силовой микроскопии используется кремниевый зонд

### **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 ПЭМ-изображению высокого разрешения ультратонкого среза образца керамики оксида циркония (рис. 1) необходимо определить ось зоны, нормальную плоскости изображения. На рис. 2 представлены кристаллографические данные ZrN.

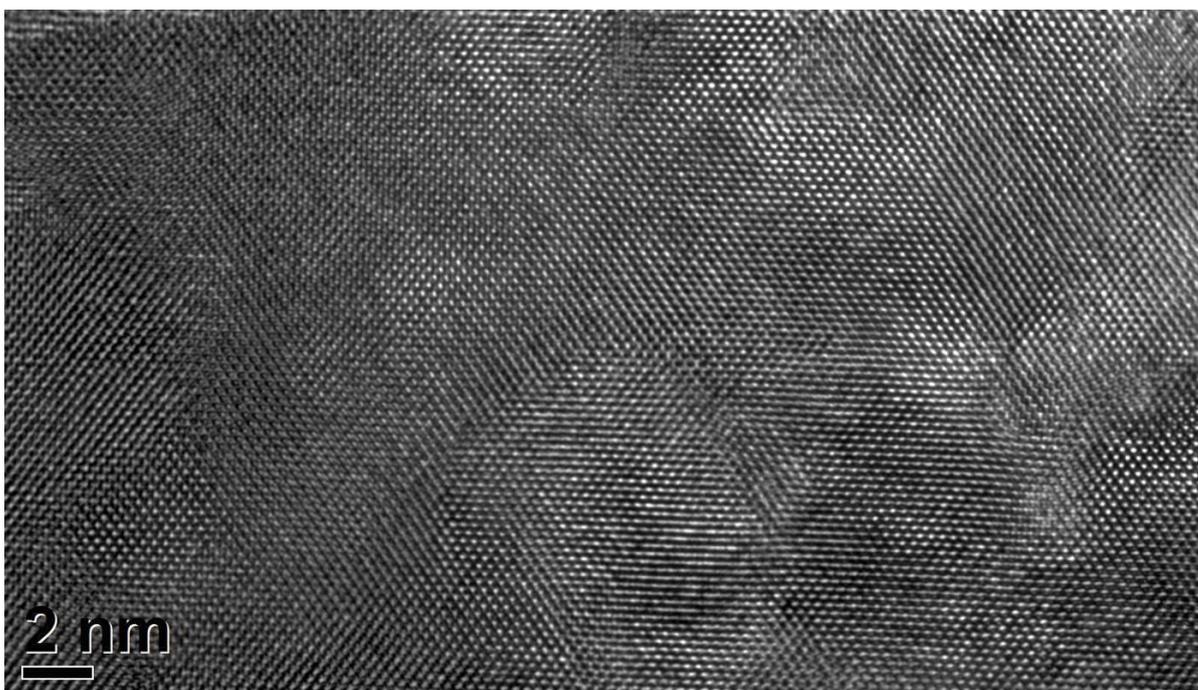


Рис. 1 ПЭМ-изображение высокого разрешения ультратонкого среза образца керамики оксида циркония

74-1217	Quality: C	Zr N											
CAS Number:		Zirconium Nitride											
Molecular Weight: 105.23		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)											
Volume[CD]: 99.25		Ref: Becker, K., Ebert, F., Z. Phys., 31, 268 (1925)											
Dx: 7.042	Dm:												
S.G.: F23 (196)													
Cell Parameters:													
a 4.630	b	c											
$\alpha$	$\beta$	$\gamma$											
I/I <sub>cor</sub> : 8.40													
Rad: CuK $\alpha$ 1													
Lambda: 1.54060													
Filter:													
d-sp: calculated													
ICSD #: 026950													
	d(A)	Int-f	h	k	l	d(A)	Int-f	h	k	l	d(A)	Int-f	h
	2.6731	999	1	1	1	1.6369	457	2	2	0	1.3365	125	2
	2.3150	858	2	0	0	1.3960	148	3	1	1	1.1575	50	4

Рис. 2 кристаллографические данные ZrN

2. По ПЭМ-изображению высокого разрешения ультратонкого среза образца керамики оксида циркония (рис.1) необходимо определить плотность дислокаций в материале, считая, что распределение дислокаций однородно по объему материала.

3. По рентгеновской дифрактограмме порошка (рис. 3) определить размер областей когерентного рассеяния по выбранным преподавателем максимумам. (длина волны рентгеновского излучения  $\lambda_{K\alpha 1} = 0,154$  нм).

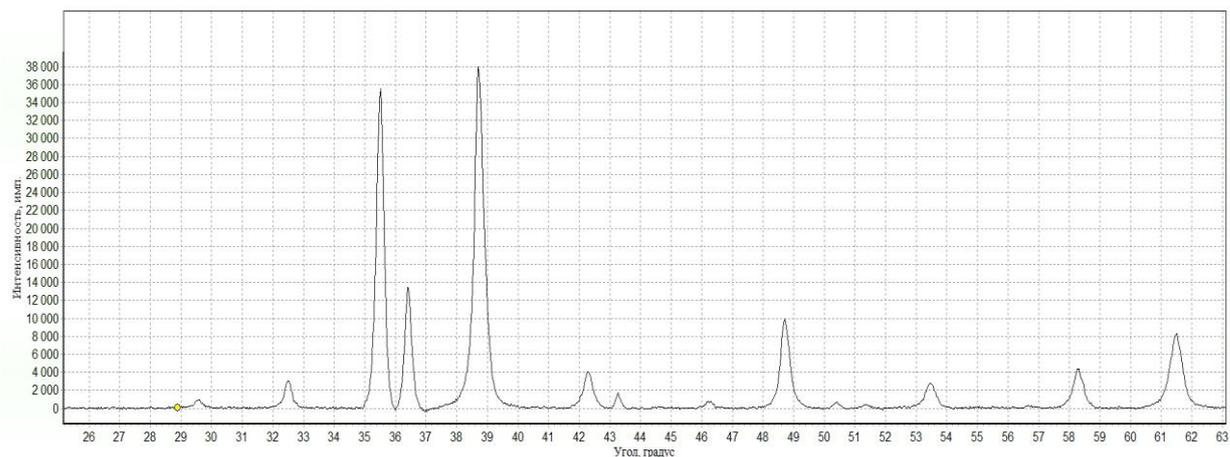


Рис. 3 Рентгеновская дифрактограмма нанокристаллических порошков, включающих Cu и O

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

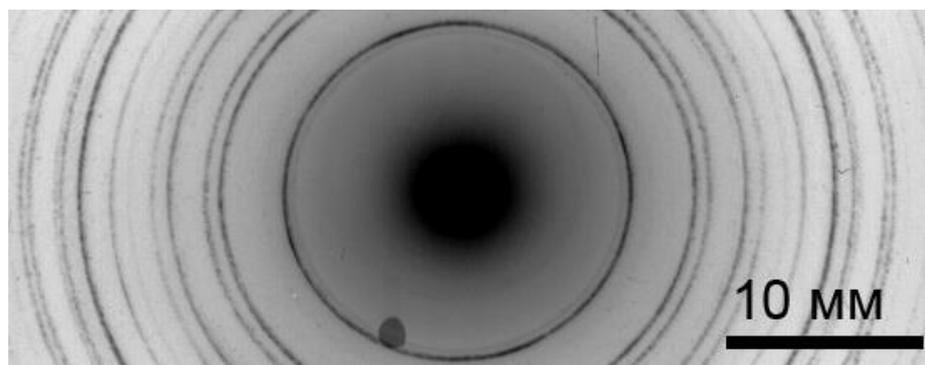


Рис. 4 Электронограмма пленки, состоящей из Li, Nb, O

5. По представленным на рис. 5 рентгеновским дифрактограммам ( $\lambda_{\text{K}\alpha 1} = 0,154 \text{ нм}$ ) образцов № 1 и 2 керамики гидроксиапатита (структурная формула  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) сделайте обоснованный вывод, какой из образцов исходный и какую степень дисперсности имеет в нем кристаллическая фаза, а какой был подвергнут длительному термическому отжигу при температуре, превышающей 0,4 от температуры плавления.

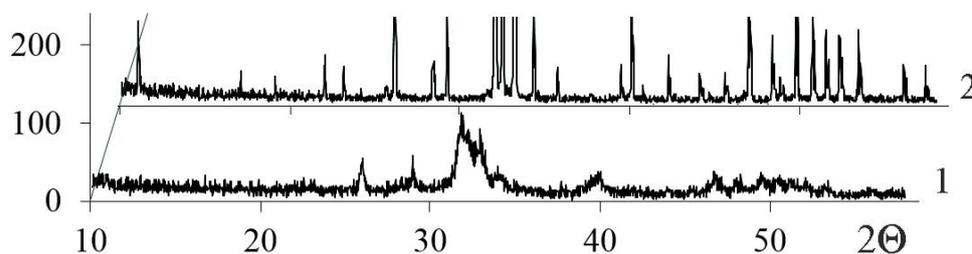


Рис. 5 Рентгеновские дифрактограммы образцов керамики гидроксиапатита

6. По данным СЗМ (рис. 6) дайте обоснованное заключение, в каком режиме туннельной микроскопии (постоянного тока или постоянной высоты) получено каждое из приведенных изображений пиролитического графита?

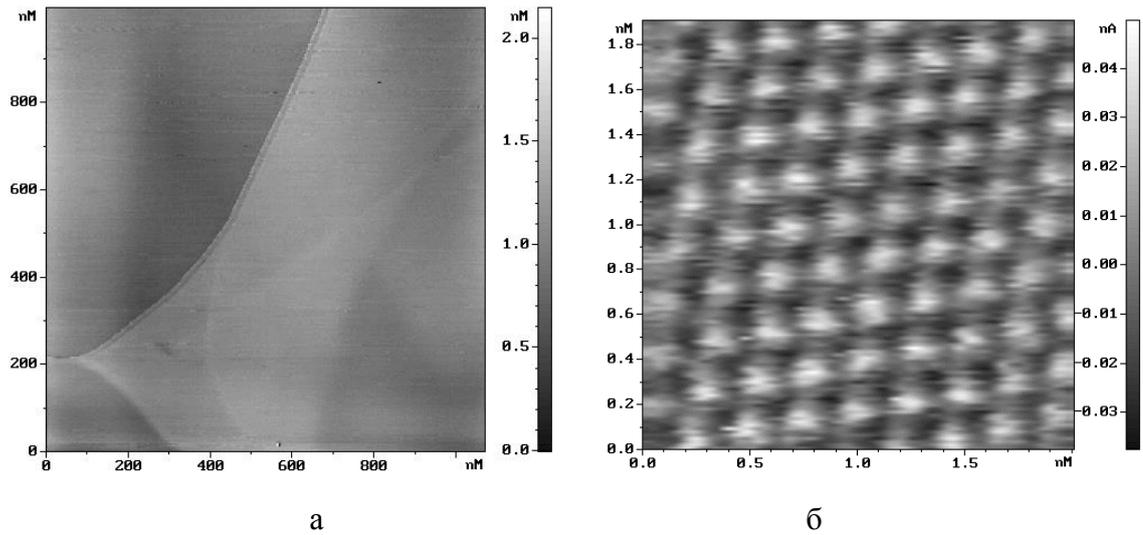


Рис.6 СЗМ-изображения поверхности пиролитического графита, полученные в режиме 1 (а) и в режиме 2 (б)

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

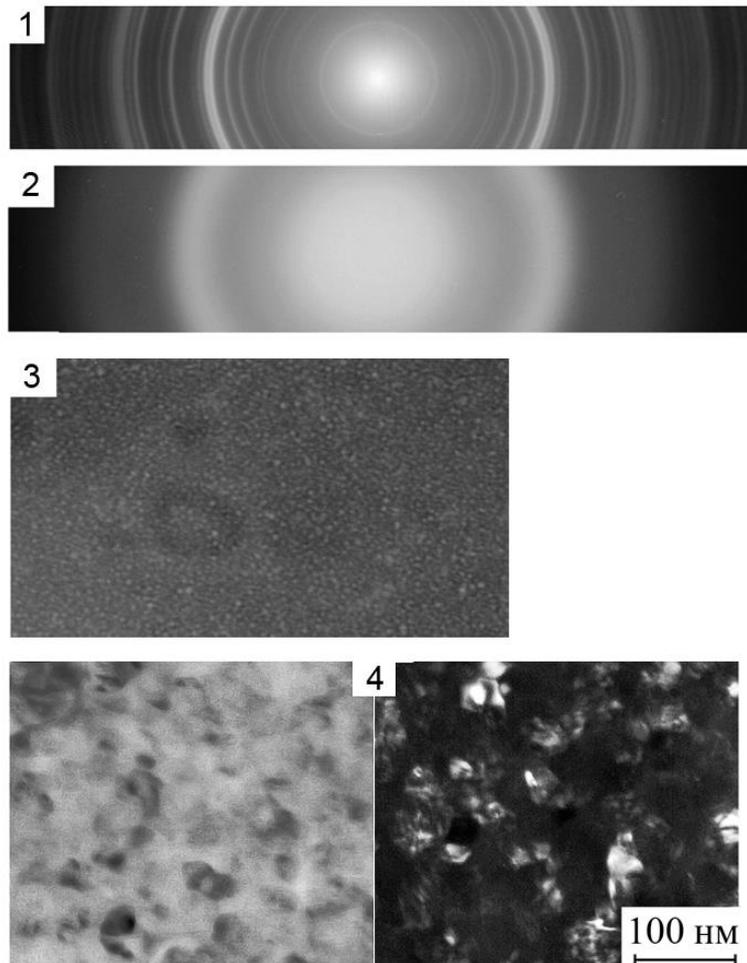


Рис.7 Электронограммы (1, 2) и ПЭМ-изображения (3, 4) двух образцов материала одинакового элементного состава.

8. На рис. 8 приведены АСМ-скан и гистограмма распределения высот рельефа поверхности монокристаллической пленки золота. Опишите возможные причины возникновения аномального (двухмодального) распределения высоты рельефа.

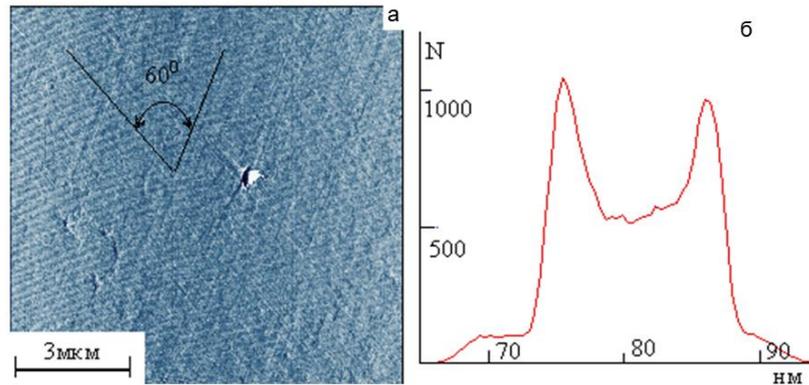


Рис. 8. АСМ изображение (а) и гистограмма распределения высоты (б) поверхности (111) монокристаллической пленки Au

9. Сделайте оценочный расчет шероховатости поверхности образца по данным атомно-силовой микроскопии (рис. 9)

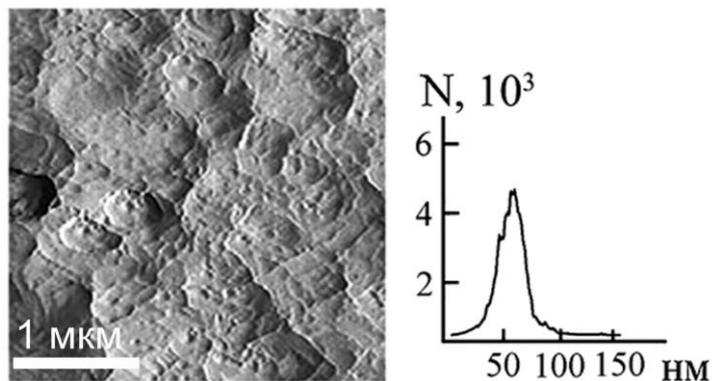


Рис. 9 АСМ-скан и гистограмма распределения высот поверхности керамического материала.

10. В таблице приведены полученные методом рентгеноспектрального микроанализа весовые доли элементов в термоэлектрическом материале на основе халькогенидов висмута, легированном наночастицами собственных оксидов. Определите атомные доли элементов.

Элемент	Весовая доля, %	Атомная доля, %
Bi	15,77	-
Sb	26,49	-
Te	57,6	-
O	0,15	-

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Природа рентгеновского излучения. Источники и детекторы рентгеновских лучей. Типы рентгеновского излучения (тормозное, характеристическое).

2. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Рассеяние рентгеновских лучей: когерентное и некогерентное.
3. Дифракция рентгеновских лучей. Уравнение дифракции Лауэ. Уравнение Вульфа-Брегга. Сфера Эвальда.
4. Рентгеновская дифрактометрия поликристаллов. Конструкция дифрактометров. Геометрия рентгенограмм и интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах поликристаллов.
5. Фазовый анализ материалов. Индицирование рентгенограмм. Идентификация вещества по данным межплоскостных расстояний.
6. Возможности количественного фазового анализа. Метод корундовых чисел. Рентгенографический анализ уширения дифракционных линий. Оценка размеров кристаллитов в поликристаллических материалах.
7. Основные принципы ПЭМ. Устройство электронного микроскопа. Образцы для ПЭМ. Методы пробоподготовки
8. Взаимодействие электронов с материалом. Упругое и неупругое рассеяние. Дифракция быстрых электронов на кристаллических объектах. Электронограммы: построение и индицирование. Двойная дифракция.
9. Дифракционный контраст электронно-микроскопического изображения. Амплитудный контраст. Контраст изображения совершенного кристалла. Амплитудный контраст в исследовании дефектов кристаллической решетки.
10. Фазовый контраст. Периодические изображения кристаллической решетки: электронномикроскопический муар, прямое разрешение плоскостей кристаллической решетки.
11. Устройство и принцип работы растрового электронного микроскопа. Формирование изображения в растровом электронном микроскопе. Подготовка образцов к исследованию методом растровой электронной микроскопии.
12. Принцип и возможности рентгеноспектрального микроанализа.
13. Возможности и область применения сканирующей зондовой микроскопии. Основные принципы работы и устройство сканирующих зондовых микроскопов.
14. Атомно-силовая микроскопия. Туннельная микроскопия.
15. Оже-электронная микроскопия. Сущность эффекта Оже. ЭОС как метод элементного анализа. Глубина выхода Оже-электронов. Химический сдвиг в кинетической энергии Оже-электрона. Типы анализаторов энергий применяющихся в ЭОС. Детекторы.
16. Методы количественного анализа электронной Оже-спектроскопии. Интегральный и дифференцированный энергетический спектр Оже-электронов. Использование метода ОЭС в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела.
17. Рентгеновская спектроскопия в ультрамягкой области. Способы проведения послыонного неразрушающего анализа образца в рентгеновской спектроскопии. Связь между плотностью электронных состояний и интенсивностью рентгеновского спектра.
18. ИК-спектроскопия. ИК-спектрометр. Источники ИК-излучения, приемники ИК-излучения. Теоретические основы инфракрасной спектроскопии. Гармонические колебания. Ангармонические колебания. Колебания многоатомных молекул. Основные области инфракрасного спектра. Особенности техники ИК-эксперимента. Анализ ИК-спектров.
19. Мессбауэровская (гамма-резонансная) спектроскопия. Адсорбционная и эмиссионная МС. Релеевское рассеяние мессбауэровского излучения. МС конверсионных электронов. Временная МС резонансного рассеяния вперед. Неупругое ядерное резонансное рассеяние. Применение мессбауэровской спектроскопии для исследования высокодисперсных веществ. Магнитное расщепление мессбауэровских спектров. Мессбауэровская спектроскопия на ядрах примесных атомов.
20. Методы радиоспектроскопии: ядерный магнитный резонанс (ЯМР) Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Введение в магнитный резонанс. Физические основы метода ЭПР. Дополнительная информация, заключенная в спектрах ЭПР. Применение ЭПР

для исследования структуры и динамики наноразмерных систем. ЯМР и ЯКР спектроскопия твердого тела. Применение методов ЯМР в исследованиях наночастиц

21. Методы ионной спектроскопии. Обратное резерфордовское рассеяние. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами. Упругие столкновения. Потери энергии при неупругих столкновениях. Физические основы метода резерфордовского обратного рассеяния ионов. Аналитические возможности метода. Рассеяния частиц на большой угол на глубине и на поверхности.

### **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	ОПК-3	Тест
2	Рентгеновские методы исследования структуры наноматериалов	ОПК-3	Тест, защита лабораторных работ
3	Просвечивающая электронная микроскопия	ОПК-3	Тест, защита лабораторных работ
4	Растровая электронная микроскопия	ОПК-3	Тест, защита лабораторных работ
5	Сканирующая зондовая микроскопия	ОПК-3	Тест, защита лабораторных работ
6	Спектроскопические методы исследования		Тест, защита реферата
7	Ядерно-физические методы исследования наноструктур	ОПК-3	Тест, защита реферата

### **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 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике 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 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике 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 30 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**

1. Газенаур, Е. Г. Методы исследования материалов / Газенаур Е.Г., Кузьмина Л.В., Крашенинин В.И. - Москва [Электронный ресурс]: КемГУ (Кемеровский государственный университет), 2013. - ISBN 978-5-8353-1578-9.

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

3. Свистова, Т.В. Методы исследования материалов и структур электроники [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. ( 10,8 Мб ). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2013. - 1 файл.

Дополнительная литература

1. Блесман, А. И. Теоретические основы методов исследования наноматериалов [Электронный ресурс] : Учебное пособие / А. И. Блесман, В. В. Даньшина, Д. А. Полонянкин. - Омск : Омский государственный технический университет, 2017. - 78 с. - ISBN 978-5-8149-2506-0.

2. Филимонова, Н.И. Методы электронной микроскопии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Е. Фадеева; А.А. Величко; Н.И. Филимонова. - Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. - 61 с.

3. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур : сканирующая зондовая микроскопия; учебное пособие. I / Н.И. Филимонова; Б.Б. Кольцов. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 134 с. - ISBN 978-5-7782-2158-1.

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

5. Миронов В. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учеб. пособие. - М. : Техносфера, 2004. - 144 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 5-94836-034-2.

### **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:**

- 8.2.1 - 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;
  - Microsoft Office Power Point 2013/2007
- 8.2.2 - Презентации по курсу методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

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

**9.2 Учебные лаборатории:**

Просвечивающей электронной микроскопии и электронографии

**9.3 Дисплейный класс**, оснащенный компьютерными программами

**9.4 Натурные лекционные демонстрации:**

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

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

По дисциплине «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» 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 и субструктурных характеристик наноструктурированных материалов. 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 усвоения 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.