

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники

В.А. Небольсин /
И.О. Фамилия
31 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)
«Методы исследования и контроля материалов электроники»
наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки (специальность)
11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА
код и наименование направления подготовки/специальности

Профиль (специализация)
МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
название профиля/программы

Квалификация выпускника магистратура

Нормативный период обучения 2 года

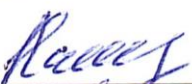
Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2021

Автор(ы) программы


подпись Костюченко А.В.

Заведующий кафедрой
физики твердого тела
наименование кафедры, реализующей дисциплину


подпись Ю.Е. Калинин

Руководитель ОПОП


подпись А.В. Костюченко

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины – формирование у обучающихся знаний и навыков в области экспериментальных высоколокальных методов исследования фазового состава, структуры и субструктуры материалов функциональной электроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины – формирование у обучающихся знаний о принципиальных основах и возможностях современных методов исследования структурных параметров материалов; ознакомление с аппаратным оснащением методов исследования структуры, субструктуры и фазового состава материалов функциональной электроники, включая наноструктурированные материалы; 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 исследования и контроля материалов электроники» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Методы исследования и контроля материалов электроники» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - Способен к организации и проведению экспериментальных исследований материалов электроники и физических процессов с применением современных средств и методов

ПК-5 - Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем функциональной электроники, готовить научные публикации и заявки на изобретения

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	знать физические принципы основных экспериментальных высоколокальных методов исследования материалов, используемых в функциональной электронике, условия реализации и границы применения этих методов;
	уметь выполнять измерение параметров материалов функциональной электроники, с помощью современного аналитического оборудования;

	владеть навыками проведения исследовательских испытаний структурных и физических параметров материалов функциональной электроники с помощью современного аналитического оборудования
ПК-5	знать основы качественного и количественного расчёта структурных и функциональных параметров материалов, методы математического анализа результатов исследования материалов и структур;
	уметь осуществлять оценку расчетных параметров по данным экспериментальных исследований, проводить статистическую обработку результатов, полученных экспериментальными методами исследования структуры и свойств;
	владеть навыками анализа результатов экспериментальных исследований, формулировки математически обоснованных выводов по результатам анализа.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Методы исследования и контроля материалов электроники» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
Аудиторные занятия (всего)	62	62
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
Самостоятельная работа	82	82
Курсовая работа	+	+
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	144	144
зач.ед.	4	4

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 дисциплины, понятия и термины. Общие характеристики методов изучения, анализа и диагностики материалов функциональной электроники. Границы применимости методов.	2	0	0	4	6
2	Рентгеновские методы исследования структуры материалов	Спектры рентгеновского излучения. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Рассеяние рентгеновских лучей: когерентное и некогерентное. Дифракция рентгеновских лучей. Способы регистрации рентгеновского излучения. Рентгеновская дифрактометрия поликристаллов. Геометрия рентгенограмм и интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах поликристаллов. Индицирование рентгенограмм. Профильный анализ. Метод Риттвельда. Возможности количественного и качественного анализа. Оценка состава твердых растворов. Исследование величины ОКР и микродеформаций методом Уильямсона-Холла. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей. Анализ структуры многослойных материалов.	10	4	4	24	42
3	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 кристаллических объектах. Электронограммы: построение и индицирование. 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. Применение метода муара для выявления дефектов структуры кристаллической решетки. Прямое разрешение кристаллических плоскостей. Определение текстур и фаз.	12	6	4	28	50
4	Сканирующая электронная микроскопия	Основные физические принципы сканирующей электронной микроскопии. Конструкция растрового	4	2	0	8	14

		электронного микроскопа. Формировании электронного зонда. Детекторы вторичных сигналов. Формирование контраста в РЭМ. Принципы электронно-зондового микроанализа. Типы рентгеновских микроанализаторов. Закон Мозли. Методы анализа рентгеновского спектра.					
5	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.	2	2	4	8	16
6	Спектральные методы	Оже-электронная спектроскопия: физические основы метода; форма оже-электронных спектров; количественный анализ оже-электронных спектров. Спектрофотометрия: физические основы метода; спектры пропускания и отражения; анализ электронной структуры материалов; анализ оптических параметров многослойных структур.	4	2	0	10	16
Итого			34	16	12	82	144

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование фазового состава и структуры материалов методом рентгеновской дифрактометрии.

2. Исследование структуры и субструктуры материалов методами электронографии и просвечивающей электронной микроскопии.

3. Исследование морфологии поверхности материалов методом сканирующей зондовой микроскопии.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы во 2 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Исследование фазового состава, структуры и субструктуры материала для функциональной электроники»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- Анализ структурных и субструктурных параметров, критичных для функциональных свойств материала
- Выбор метода и режимов исследования материала.
- Интерпретация и описание структурно-фазовых параметров материала.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

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-4	знать физические принципы основных экспериментальных высоколокальных методов исследования материалов, используемых в функциональной электронике, 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 выполнять измерение параметров материалов функциональной электроники, с помощью современного аналитического оборудования;	Решение стандартных практических и теоретических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками проведения исследовательских испытаний структурных и физических параметров материалов функциональной электроники с помощью современного аналитического оборудования	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
ПК-5	знать основы качественного и количественного расчёта структурных и функциональных параметров материалов, методы математического анализа результатов исследования материалов и структур;	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 осуществлять оценку расчетных параметров по данным экспериментальных исследований, проводить статистическую обработку результатов, полученных экспериментальными методами исследования структуры и свойств;	Решение стандартных практических и теоретических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками анализа результатов экспериментальных исследований, формулировки математически обоснованных выводов по результатам анализа.	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 во 2 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-4	знать физические принципы основных экспериментальных высоколокальных методов исследования материалов, используемых в функциональной электронике, условия реализации и границы применения этих методов;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 75-90%	Выполнение теста на 60-75%	В тесте менее 60% правильных ответов
	уметь выполнять измерение параметров материалов функциональной электроники, с помощью современного аналитического оборудования;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками проведения исследовательских испытаний структурных и физических	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	параметров материалов функциональной электроники с помощью современного аналитического оборудования		верные ответы	верный ответ во всех задачах		
ПК-5	знать основы качественного и количественного расчёта структурных и функциональных параметров материалов, методы математического анализа результатов исследования материалов и структур;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 75-90%	Выполнение теста на 60-75%	В тесте менее 60% правильных ответов
	уметь осуществлять оценку расчетных параметров по данным экспериментальных исследований, проводить статистическую обработку результатов, полученных экспериментальными методами исследования структуры и свойств;	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 анализа результатов экспериментальных исследований, формулировки математически обоснованных выводов по результатам анализа.	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

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 светопольное 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.

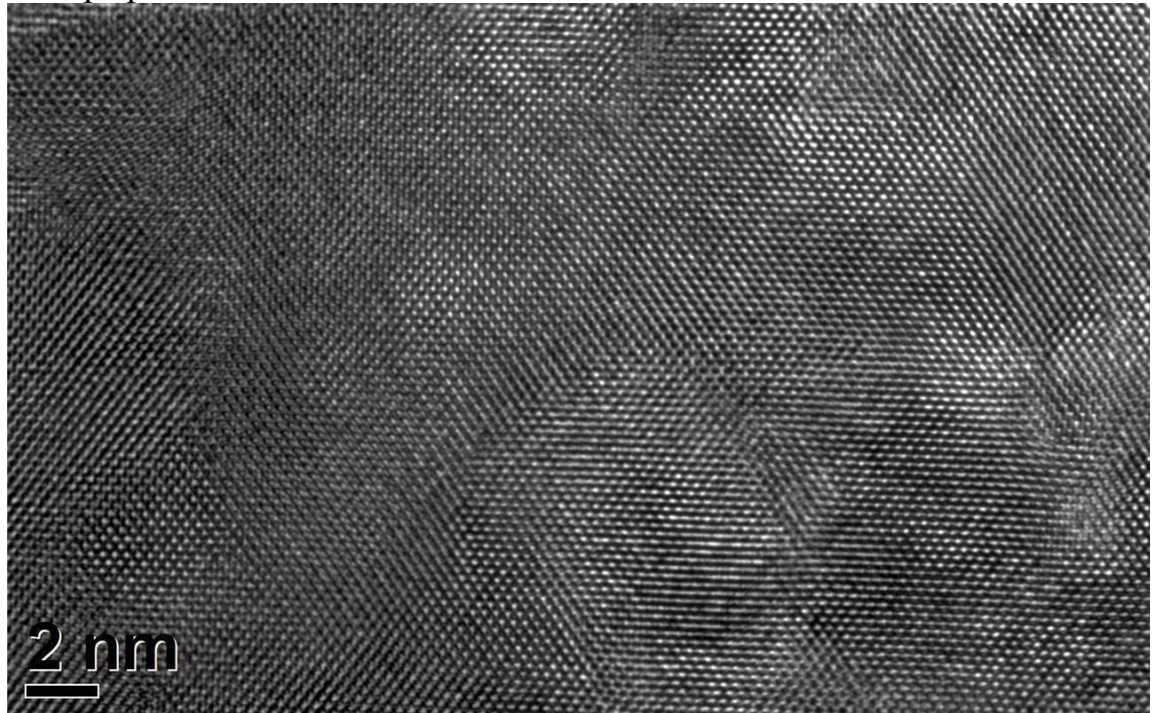


Рис. 1 ПЭМ-изображение высокого разрешения ультратонкого среза образца керамики оксида циркония

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																
α β γ																
I/Icor: 8.40																
Rad: CuK α 1																
Lambda: 1.54060																
Filter:																
d-sp: calculated		d(A)	Int-f	h	k	l	d(A)	Int-f	h	k	l	d(A)	Int-f	h	k	l
ICSD #: 026950		2.6731	999	1	1	1	1.6369	457	2	2	0	1.3365	125	2	2	2
		2.3150	858	2	0	0	1.3960	148	3	1	1	1.1575	50	4	0	0

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 $\lambda_{K1}=0,154$ нм).

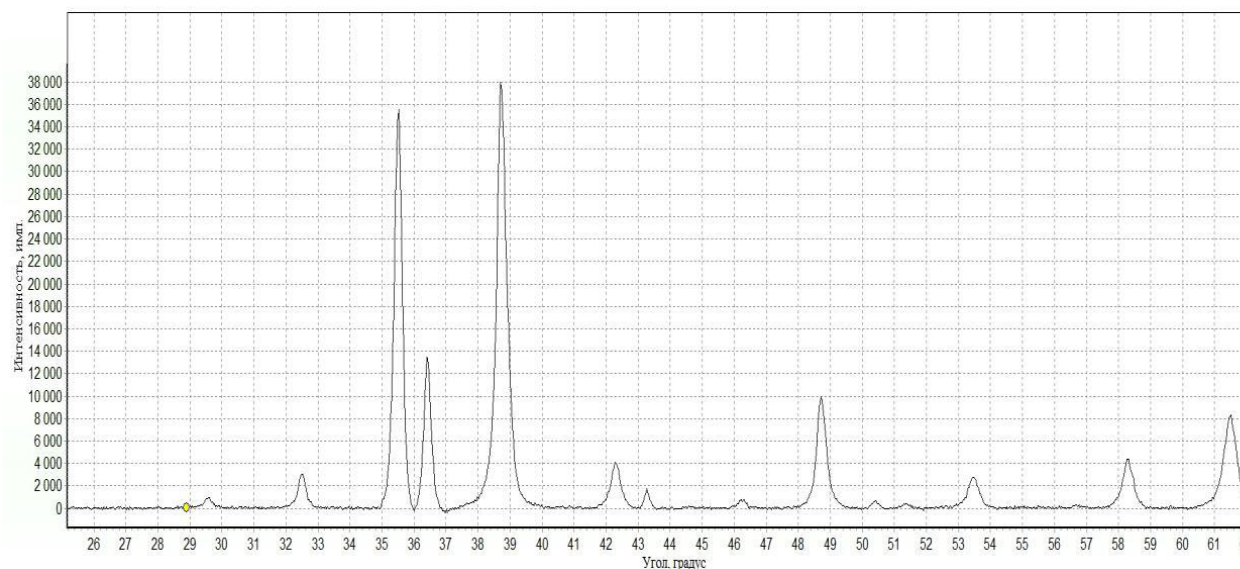


Рис. 3 Рентгеновская дифрактограмма нанокристаллических порошков, включающих Cu и O

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).

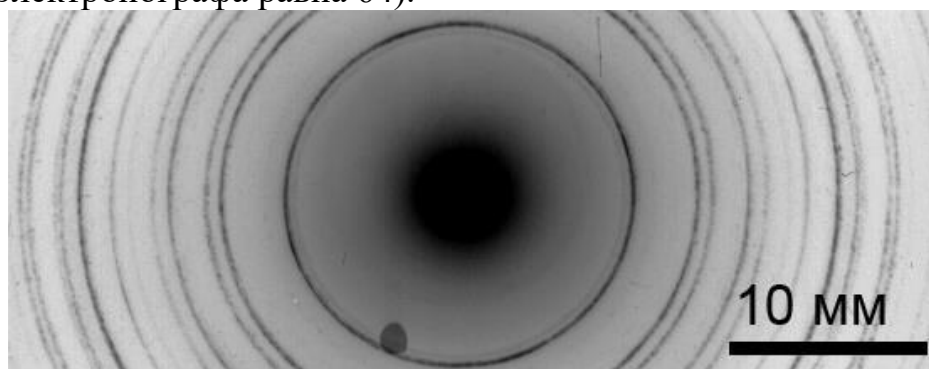


Рис. 4 Электронограмма пленки, состоящей из Li, Nb, O

5. По представленным на рис. 5 рентгеновским дифрактограммам ($\lambda_{K1}=0,154$ 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 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.

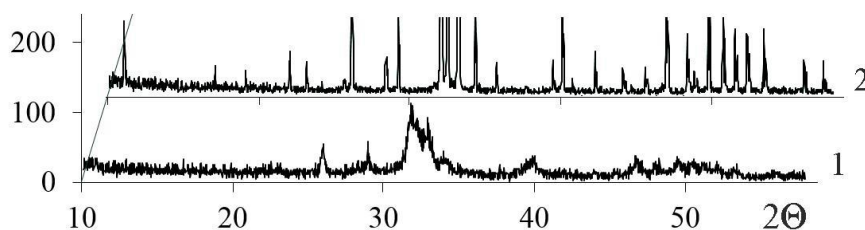


Рис. 5 Рентгеновские дифрактограммы образцов керамики гидроксиапатита

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?

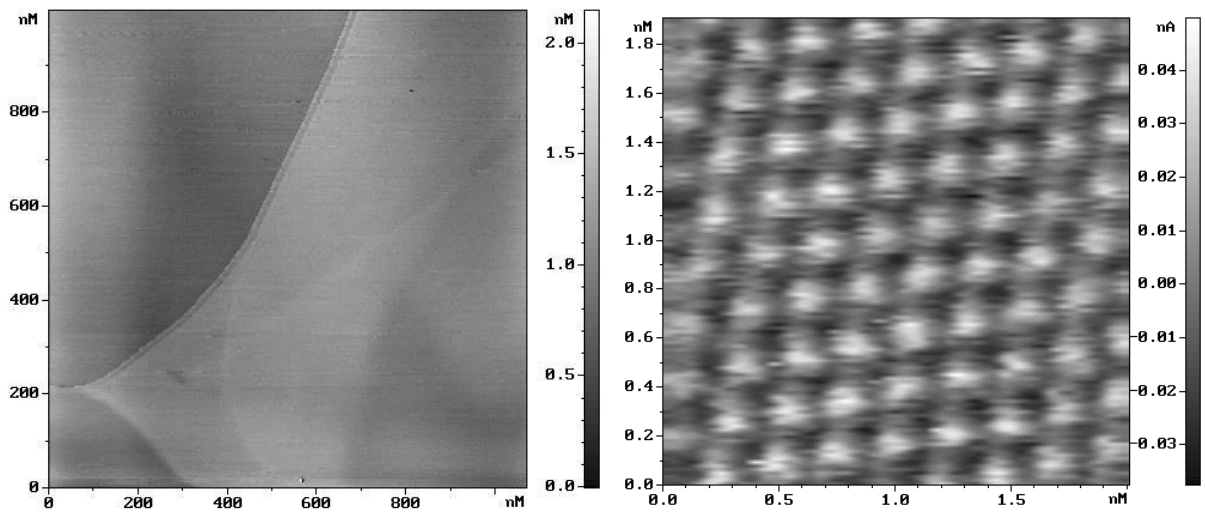


Рис.6 СЗМ-изображения поверхности пиролитического графита, полученные в режиме 1 (а) и в режиме 2 (б)

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

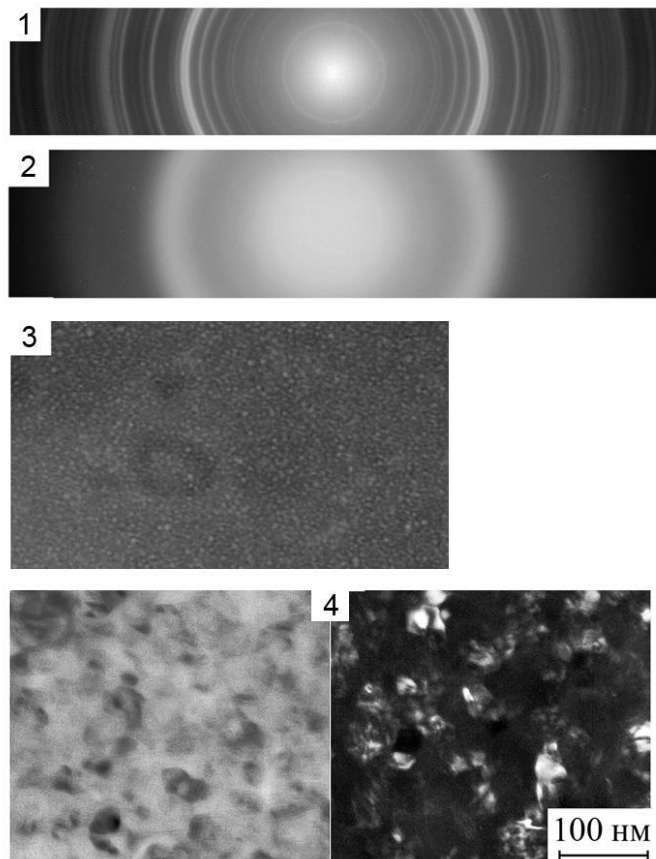


Рис.7 Электронограммы (1, 2) и ПЭМ-изображения (3, 4) двух образцов материала одинакового элементного состава.

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.

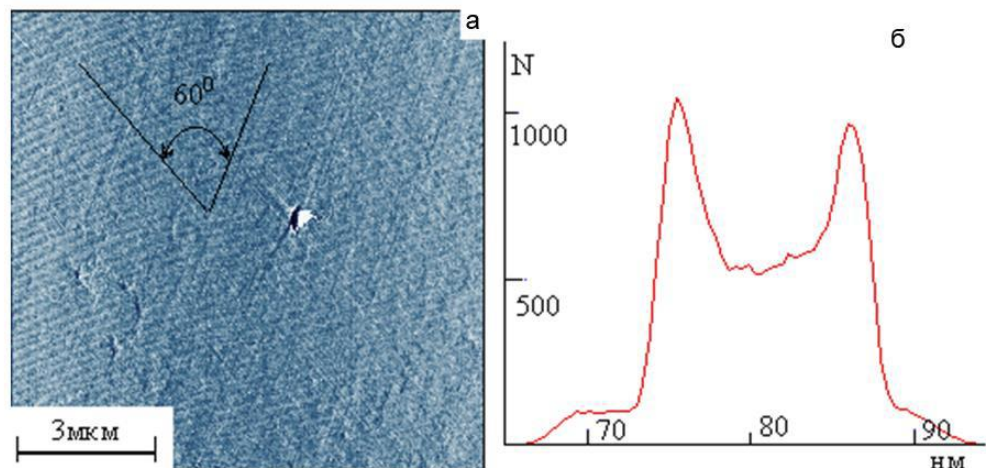


Рис. 8. АСМ изображение (а) и гистограмма распределения высоты (б) поверхности (111) монокристаллической пленки Au

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

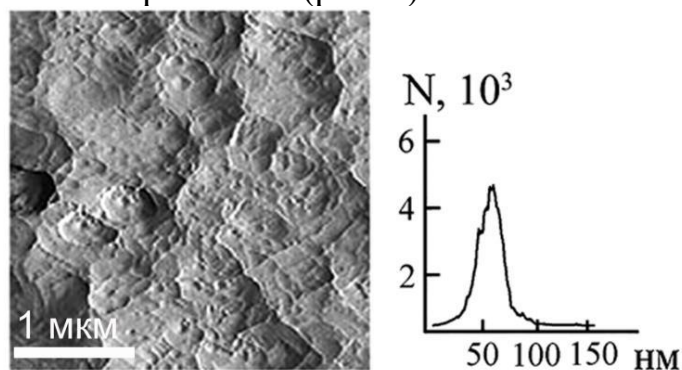


Рис. 9 АСМ-скан и гистограмма распределения высот поверхности керамического материала.

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	57,60	-
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. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Рассеяние рентгеновских лучей: когерентное и некогерентное. Дифракция рентгеновских лучей. Способы регистрации рентгеновского излучения.
2. Рентгеновская дифрактометрия поликристаллов. Геометрия рентгенограмм и интенсивность дифракционных максимумов на рентгенограммах поликристаллов. Индицирование рентгенограмм.
3. Профильный анализ. Метод Риттвельда. Возможности количественного и качественного анализа.
4. Оценка состава твердых растворов. Исследование величины ОКР и микродеформаций методом Уильямсона-Холла.
5. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей. Анализ структуры многослойных материалов.
6. Основные принципы ПЭМ. Устройство электронного микроскопа. Дефекты линз просвечивающих электронных микроскопов: сферическая абберация, хроматическая абберация, дифракция на апертуре, астигматизм.
7. Упругое рассеяние и дифракция быстрых электронов на кристаллических объектах. Размерный эффект: влияние размеров и формы кристаллов на форму узла обратной решетки. Двойная дифракция. Электронограммы sdвойникованных кристаллов.
8. Электронограммы: построение и индицирование.
9. Дифракционный контраст электронно-микроскопического изображения. Амплитудный контраст. Контраст изображения совершенного кристалла. Применение темнопольного анализа для кристалла.
10. Исследование дефектов кристаллической решетки. Контраст изображения кристалла с дефектами упаковки. Контраст на дислокациях.
11. Фазовый контраст ЭМ изображения. Периодические изображения кристаллической решетки: электронномикроскопический муар. Применение метода муара для выявления дефектов структуры кристаллической решетки.
12. Фазовый контраст ЭМ изображения. Прямое разрешение кристаллических плоскостей. Определение текстур и фаз.
13. Основные физические принципы сканирующей электронной микроскопии. Конструкция сканирующего электронного микроскопа. Формировании электронного зонда. Детекторы вторичных сигналов. Формирование контраста в РЭМ.
14. Принципы электронно-зондового микроанализа. Типы рентгеновских микроанализаторов. Закон Мозли. Методы анализа рентгеновского спектра.
15. Возможности и область применения сканирующей зондовой микроскопии. Основные принципы работы и устройство сканирующих зондовых микроскопов. Атомно-силовая микроскопия.
16. Туннельная микроскопия. Ближнепольная оптическая зондовая микроскопия. Магнитно- и электросиловая микроскопия.

17. Оже-электронная спектроскопия: физические основы метода; форма оже-электронных спектров; количественный анализ оже-электронных спектров.

18. Спектрофотометрия: физические основы метода; спектры пропускания и отражения; анализ электронной структуры материалов; анализ оптических параметров многослойных структур.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 15 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов (3 балла верное решение и 2 балла за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 12 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 12 до 14 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 17 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 18 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-4	Тест, защита реферата
2	Рентгеновские методы исследования структуры материалов	ПК-4, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
3	Просвечивающая электронная микроскопия	ПК-4, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
4	Сканирующая электронная микроскопия	ПК-4, ПК-5	Тест, защита реферата
5	Сканирующая зондовая микроскопия	ПК-4, ПК-5	Тест, защита лабораторных работ
6	Спектральные методы	ПК-4, ПК-5	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 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 30 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 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Векилова, Г. В. Дифракционные и микроскопические методы и приборы для анализа наночастиц и наноматериалов : учебное пособие / Г. В. Векилова, А. Н. Иванов, Ю. Д. Ягодкин. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2009. — 145 с. — ISBN 978-5-87623-228-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98165.html>

2. Иевлев В.М. Методы исследования атомной структуры и субструктуры материалов: учеб. пособие / Иевлев В.М., Кущев С.Б. - Воронеж: ВГТУ, 2001. - 446 с.

3. Ожерельев, В. В. Методы исследования структуры твердых тел: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (3,8 Мб) / М54 В. В. Ожерельев, А. В. Костюченко, С. В. Канькин, А. И. Донцов. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2021.

4. 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.

5. 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.

6. Бублик, В. Т. Дифракционные методы изучения материалов и приборных структур. Рентгеновская рефлектометрия : учебное пособие / В. Т. Бублик, К. Д. Щербачев, М. И. Воронова. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2016. — 84 с. — ISBN 978-5-87623-982-2. — Текст : электронный //

Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/64174.html>

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. 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: Электронная информационная образовательная среда ВГТУ, код доступа:

<http://eios.vorstu.ru/>

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

Операционные системы семейства MSWindows;

Пакет программ семейства MS Office;

Пакет офисных программ OpenOffice;

Программа обработки результатов сканирующей туннельной микроскопии «Image_Analysis_P9»;

База межплоскостных расстояний «Powder Diffraction File Alphabetical Index Inorganic Compounds»;

Программа просмотра файлов Djview;

Программа просмотра файлов формата pdf AcrobatReader;

Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome.

Используемые электронные библиотечные системы:

Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL», код доступа:

<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;

Университетская библиотека онлайн, код доступа: <http://biblioclub.ru/>;

ЭБС Издательства «ЛАНЬ», код доступа <http://e.lanbook.com/>;

ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>;

научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа:

<http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, код доступа <http://fgosvo.ru>;
единое окно доступа к образовательным ресурсам, код доступа <http://window.edu.ru/>;
открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ, код доступа <http://online.mephi.ru/>;
открытое образование, код доступа: <https://openedu.ru/>;
физический информационный портал, код доступа: <http://phys-portal.ru/index.html>

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 (025), рентгеновской дифрактометрии (020), сканирующей зондовой микроскопии (025)
- 9.3 Дисплейный класс**, оснащенный соответствующим ПО
- 9.4 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 «Методы исследования и контроля материалов электроники» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

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 параметров кристаллической структуры и субструктуры материалов функциональной электроники. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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 зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.