Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 17.09.2025 17:48:01
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Полиграфический институт

УТВЕРЖДАЮ
Директор
_____ /Нагорнова И.В./
« 27 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Электронная микроскопия и спектрометрия

Направление подготовки

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Профиль

Технология композитов

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва 2025 г.

Настоящая рабочая программа дисциплины устанавливает требования к знаниям и умениям обучающегося и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, и обучающихся по направлению. подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, изучающих дисциплину «Электронная микроскопия и спектрометрия».

Программа разработана в соответствии с:

- Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, утвержденным приказом МОН РФ от 24 апреля 2018 г. № 306;
- Основной образовательной программой высшего образования по профилю «Технологии композитов» направления подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов;
- Академическим учебным планом профиля «Технологии композитов» направления подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов.

Разработчик (и):

Профессор кафедры «Инновационные материалы принтмедиаиндустрии»,

д.техн.н, профессор_____/А.В. Дедов/

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Инновационные материалы принтмедиаиндустрии»,

к.физ.-мат.н., доцент_____/Г.О.Рытиков/

Руководитель образовательной программы

д.техн.н., профессор_____/А.П.Кондратов/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 5
3.1 Виды учебной работы и трудоемкость 5
3.2 Тематический план изучения дисциплины 5
3.3 Содержание дисциплины 6
3.4 Тематика практических и лабораторных занятий 7
3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 8
4.1 Нормативные документы и ГОСТы 8
4.2 Основная литература 8
4.3 Дополнительная литература 8
4.4 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 9
4.5 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 9
5. Материально-техническое обеспечение 9
6. Методические рекомендации 9
6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 9
6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 9
7. Фонд оценочных средств 11
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 11
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 11
7.3 Оценочные средства 13

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Электронная микроскопия и спектроскопия» является обретение обучающимися способности к эмпирическому определению структуры и прогнозированию свойств полимерных композиционных материалов.

Задачам освоения дисциплины являются:

- формирование у обучающихся навыков эмпирического получения информации о морфологии объекта исследования методами электронной микроскопии и спектрометрии;
- формирование у обучающихся умения выявлять причины производственного брака и несоответствия полимерных и композиционных материалов техническим требованиям заказчика на основании результатов эмпирических исследований морфологии изделий средствами электронной микроскопии и спектрометрии;
- формирование у обучающихся знаний, обеспечивающих возможность методологически корректного оценивания результатов инженерно-технологических разработок и научных исследований в области материаловедения полимеров с помощью методов электронной микроскопии и спектрометрии.

Обучение по дисциплине «Электронная микроскопия и спектроскопия» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2. Способен определять эксплуатационные характеристики; прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материалах	ИПК-2.3. Выявляет причины производственного брака и несоответствия полимерных и композиционных материалов
ОПК-5. Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях	ИОПК-5.2. Оценивает результаты научно-исследовательских разработок, обосновывает выбор оптимального решения, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.1.6.2 «Электронная микроскопия и спектроскопия» относится к числу дисциплин обязательной части основной образовательной программы магистратуры.

Дисциплина связана логически и структурно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

Б1.1.5.1 Физикохимия межфазных взаимодействий.
Б1.1.5.2 Материаловедение и технологии композитов.
Б1.1.5.3 Методология выбора материалов и технологий производства композитов.
Б1.1.6.1 Инструментальные методы исследования, контроля и испытания материалов.
Б1.1.6.3 Материаловедческая экспертиза.
Б2.1.1.3 Технологии обработки поверхностей
Б2.1.1 Учебная практика (ознакомительная).
Б2.2.1 Производственная практика (научно-исследовательская работа).
Б3.1 Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.
ФТД 2. Математическая обработка результатов измерений.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часа).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			3
1	**Аудиторные занятия**	**36**	**36**
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия		
1.3	Лабораторные занятия	18	18
2	**Самостоятельная работа**	**72**	**72**
	В том числе:		
2.1	Подготовка к лекционным занятиям	36	36
2.2	Подготовка к лабораторным занятиям	36	36
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет	-	-
	Итого	**108**	**108**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	Профилометрия и сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ)		2	-	2	-	10
2	Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ).		2	-	2	-	26
3	Атомно-силовая микроскопия (АСМ).		2	-	2	-	10
4	Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ).		2	-	2	-	26
5	Методы электронной микроскопии.		2	-	2		
6	Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).		2	-	2		
7	Применение методов сканирующей электронной микроскопии для эмпирического изучения морфологии композиционных материалов.		2	-	2		
8	Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).		2	-	2		
9	Применение методов просвечивающей электронной микроскопии для эмпирического изучения морфологии композиционных материалов.		2	-	2		
	Всего	**108**	**18**	-	**18**	-	**72**
	Зачет	-	-	-	-	-	-
	Итого	**108**	**18**	**36**	-	-	**72**

3.3 Содержание дисциплины

Тема 1. Профилометрия и сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Профилометрическая парадигма исследования шероховатости поверхности. Методы и возможности сканирующей зондовой микроскопии. Основные типы зондовых микроскопов: атомно-силовой микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп и ближнепольный оптический микроскоп. Сравнительный анализ достоинств и недостатков сканирующей зондовой микроскопии. Взаимосвязь между пространственным разрешением, кратностью увеличения и продолжительностью процесса эмпирического исследования образца.

Тема 2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Возникновении и зависимость силы туннельного тока между остриём иглы кантилевера и поверхностью образца. Методы сканирования: постоянной высоты, постоянного туннельного тока. Сравнительный анализ пространственного разрешения и чувствительности методов сканирования при исследовании гладких и шероховатых поверхностей. Методы достижения моноатомарного разрешения. Зависимость туннельного тока от работы выхода электронов, неоднородности планарного распределения атомов, управляющего напряжения. Определение вольтамперных характеристик туннельного контакта металл-металл и металл-полупроводник.

Тема 3. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Принцип работы атомно-силового микроскопа. Зависимость силы Ван-дер-Ваальса между зондом и поверхностью от расстояния между ними. Особенности кантилеверов и пространственного сканирования в атомно-силовой микроскопии. Режимы работы АСМ: контактный, полуконтактный, бесконтактный. Сравнительный анализ точности, разрешающей способности и степени разрушения образца при использовании различных режимов работы АСМ.

Тема 4. Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ). Принцип работы оптического ближнепольного микроскопа. Оптическая система БОМ: источники излучения, зависимость разрешающей способности и качества изображений от характера частотной модуляции, дифракционный предел. Особенности зондов и режимов сканирования в оптической ближнепольной микроскопии. Частотно-модулированное перемещение зонда. Режимы амплитудного и фазового контраста.

Тема 5. Методы электронной микроскопии. Минимальный размер объекта, детектируемого с помощью электромагнитного излучения оптического частотного диапазона. Сравнительный анализ показателей преломления для излучений различных частот. Корпускулярно-волновой дуализм и волновая модель потока электронов. Фундаментальные основы принципа работы электронного микроскопа: способы управление скоростью и направлением движения электронов; рассеяние электронов на поверхности образца. Сравнительный анализ сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) и просвечивающих электронных микроскопов (ПЭМ). Особенности взаимодействия электронных пучков с веществом: прохождение и обратное рассеяние первичных электронов, генерация вторичных электронов, характеристическое рентгеновское излучение, Оже-электроны и катодолюминесценция. Энергодисперсионная (ЭДС) и волновая дисперсионная (ВДС) спектроскопия.

Тема 6. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).
Принцип работы сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Характерные размеры образцов, типовые материалы подложек и держателей. Пробоподготовка: требования к образцам по вакуум- и радиационной стойкости; техники удаление адсорбированных жидкостей и газов; очистка поверхности методом плазмохимической обработки. Изготовление шлифов: горячее прессование, использование эпоксидных смол, наклеивание порошкообразных образов на держатель.

Тема 7. Применение методов сканирующей электронной микроскопии для эмпирического изучения морфологии композиционных материалов.
Основные направления исследований средствами сканирующей электронной микроскопии: определение формы частиц, однородности и состава материала; сравнительный анализ изображений поверхности, полученных в режимах вторичных и обратнорассеянных электронов. Микроанализ: дисперсия энергии и спектр рассеянного образцом рентгеновского излучения. Уравнение Вульфа-Брэгга дифракции рентгеновского излучения на детектирующем кристалле.

Тема 8. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).
Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ). Сравнительный анализ достоинств, недостатков и областей применения ПЭМ и СЭМ. Характерные размеры образцов; ускоряющее напряжение ПЭМ; геометрия взаимного расположения эммитирующего катода, образцов и датчиков. Методы пробоподготовки для ПЭМ: химическое травление, димплинг, электрополировка, ионное травление, ультрамикротомия, диспергирование, скалывание, метод реплик.

Тема 9. Применение методов просвечивающей электронной микроскопии для эмпирического изучения морфологии композиционных материалов.
ПЭМ-изображения, лауэграммы и дифракция: возможность наблюдать кристаллические структуры и измерять межплоскостные расстояния с субатомарным разрешением; визуализация картины дифракции электронного луча на кристаллических плоскостях; элементный микроанализ с одиночных наночастиц методами ЭДС и ВДС; определение морфологических особенностей и структурных характеристик наноразмерных материалов.

3.4 Тематика практических и лабораторных занятий

3.4.1. Практические и лабораторные занятия

№ п/п	№ темы	Тематика практических и лабораторных занятий	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1.	Профилометрия и сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ)	2
2	Тема 2.	Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ).	2
3	Тема 3.	Атомно-силовая микроскопия (АСМ).	2
4	Тема 4.	Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ).	2
5	Тема 5.	Методы электронной микроскопии.	2
6	Тема 6.	Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).	2
7	Тема 7.	Применение методов сканирующей электронной микроскопии для эмпирического изучения морфологии композиционных материалов.	2
8	Тема 8.	Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).	2
9	Тема 9.	Применение методов просвечивающей электронной микроскопии для эмпирического изучения морфологии композиционных материалов.	2
Итого			**18**

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) не предусмотрен.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ Р ИСО 14966-2022 — Атмосферный воздух. Определение концентрации неорганических волокнистых частиц. Метод сканирующей электронной микроскопии.
2. ГОСТ Р ИСО 16243-2016 — Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Химический анализ поверхности. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Регистрация и представление данных.
3. ГОСТ Р ИСО 27911-2015 — Государственная система обеспечения единства измерений. Химический анализ поверхности. Сканирующая зондовая микроскопия. Определение и калибровка латерального разрешения ближнепольного оптического микроскопа.
4. ГОСТ Р ИСО 22309-2015 — Государственная система обеспечения единства измерений. Микроанализ электронно-зондовый. Количественный анализ с использованием энергодисперсионной спектрометрии для элементов с атомным номером от 11 (Na) и выше.
5. ГОСТ Р 55723—2013/ISO/TS 12805:2011 — Нанотехнологии. Руководство по определению характеристик промышленных нанообъектов.
6. ГОСТ Р 8.697–2010 — Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Межплоскостные расстояния в кристаллах. Методика выполнения измерений с помощью просвечивающего электронного микроскопа.
7. ГОСТ Р 8.635–2007 — Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика калибровки.
8. ГОСТ Р 8.631-2007 — Национальный стандарт Российской Федерации. Микроскопы электронные растровые.
9. ГОСТ 19300-86 — Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры.

4.2 Основная литература

1. Морозов И.А. Современные проблемы механики. Теория и практика атомно-силовой микроскопии: учебное пособие. – г.Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2020. – 108 стр.
2. Андреева В.Д., Горшков И.И. Электронная микроскопия материалов: учебное пособие — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2016 — 139 стр.
3. Асеев В.А., Золотарев В.М., Никоноров Н.В. Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники: учебное пособие. – СПб: Изд-во Университета ИТМО, 2015 – 130 стр.

4.3 Дополнительная литература

4. Фомин Д.В., Дубов В.Л. Электронная Оже-спектроскопия: учебно-методическое пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского государственного университета, 2015. – 46 стр.
5. Пирогов А.В., Малехонова Н.В., Бобров А.И., Кривулин Н.О., Павлов Д.А. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия: учебно-методическое пособие / под редакцией Павлова Д.А. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014 – 73 стр.
6. Николичев Д.Е., Боряков А.В., Суродин С.И., Крюков Р.Н. Анализ твёрдотельных гетеронаносистем методом РФЭС: учебно-методическое пособие — Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2013 — 50 стр.
7. В.Л.Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. – Российская академия наук, Институт физики микроструктур. г.Нижний Новгород, 2004 г. – 110 стр.
8. Нефедов С.А. Основы просвечивающей электронной микроскопии: учебное пособие. –Самара: Изд-во «Самарский университет», 2004. – 244 стр.
9. С.Д.Карпухин, Ю.А.Быков, М.А.Щёкотов. Учебное пособие под ред. Ю.А.Быкова. Сканирующая туннельная микроскопия. Аппаратура, принцип работы, применение. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. — 24 стр.

4.4 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Программные продукты Microsoft Office.

4.5 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Научная электронная библиотека http:// www.elibrary.ru
2. ЭБС Юрайт» https://urait.ru
3. ЭБС Лань https:// e.lanbook.com

5. Материально-техническое обеспечение

1. Рабочее место преподавателя, оснащённое компьютером с доступом в глобальную телекоммуникационную сеть Internet, аппаратное и программное обеспечение которого позволяет проводить лекционные занятия в дистанционном формате, принятой в ФГАОУ ВО Московский политехнический университет.
2. Компьютерные классы общего фонда, оснащённые необходимым комплектом мебели, вычислительной техники, доступом в глобальную телекоммуникационную сеть Internet и функционирующей электронной доской, для проведения практических и лабораторных занятий.
3. Аудитории общего фонда, оснащенные необходимым комплектом мебели, для обеспечения возможности самостоятельной работы обучающихся.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Методика преподавания дисциплины «Электронная микроскопия и спектроскопия» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

- проведение занятий лекционного типа;
- подготовка к выполнению практических и лабораторных работ;
- решение задач;
- дискуссии, обсуждение выбора метода исследования, контроля и испытания материалов;
- подготовка и выполнение контрольных работ;
- организация и проведение текущего контроля знаний обучающихся в форме контрольных работ.

При проведении лекционных, практических и лабораторных занятий, текущей и промежуточной аттестации целесообразно использовать следующие образовательные технологии:

1. По темам дисциплины предусмотрено проведение контрольных работ.
2. На лабораторных и практических занятиях при решении аналитических задач следует использовать отраслевые нормативные документы, что позволяет формировать навыки практической работы в реальных условиях.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Получение углубленных знаний по дисциплине достигается за счет активной самостоятельной работы обучающихся. Выделяемые часы целесообразно использовать для знакомства с учебной и научной литературой по проблемам дисциплины, анализа актуальных научных концепций.

В рамках дисциплины предусмотрены различные формы контроля уровня достижения обучающимися заявленных индикаторов освоения компетенций. Форма текущего контроля –

активная работа на практических и лабораторных занятиях, письменные контрольные работы. Формой промежуточной аттестации по дисциплине является зачет, в ходе которого уровень достижения обучающимися обозначенных в рабочей программе индикаторов освоения компетенций определяется преподавателем методом экспертной оценки.

Методические указания по освоению дисциплины.

Лекционные занятия проводятся в соответствии с содержанием настоящей рабочей программы и представляют собой изложение теоретических основ дисциплины. Посещение лекционных занятий является обязательным. Конспектирование лекционного материала допускается как письменным, так и компьютерным способом. Регулярное повторение материала конспектов лекций по каждому разделу в рамках подготовки к текущим формам аттестации по дисциплине является одним из важнейших видов самостоятельной работы студента в течение семестра, необходимой для качественной подготовки к промежуточной аттестации.

Проведение практических занятий по дисциплине осуществляется в следующих формах: анализ правовой базы, регламентирующей применение инструментальных методов исследования, контроля и испытания материалов, опрос по материалам, рассмотренным на лекциях и изученным самостоятельно по рекомендованной литературе; решение типовых расчетных задач; анализ и обсуждение практических кейсов. Посещение практических занятий и активное участие в них является обязательным. Подготовка к практическим занятиям включает в себя изучение конспектов лекционного материала и рекомендованной литературы для адекватного понимания условия и способа решения заданий, запланированных преподавателем на конкретное занятие.

Проведение лабораторных работ по дисциплине осуществляется в следующих формах: анализ правовой базы, регламентирующей применение инструментальных методов исследования, контроля и испытания материалов, опрос по материалам, рассмотренным на лекциях и изученным самостоятельно по рекомендованной литературе; анализ и выполнение экспериментальной работы; решение типовых расчетных задач. Посещение лабораторных занятий и активное участие в них является обязательным.

Методические указания по выполнению различных форм внеаудиторной самостоятельной работы.

Изучение основной и дополнительной литературы, а также нормативно-правовых документов по дисциплине проводится на регулярной основе по каждой теме в соответствии с приведенными рабочей программе дисциплины рекомендациями для подготовки к промежуточной аттестации. Список основной и дополнительной литературы и обязательных к изучению нормативно-правовых документов по дисциплине приведен в настоящей рабочей программе. Следует отдавать предпочтение изучению нормативных документов, а не их адаптированной интерпретации в учебной литературе.

Решение задач по дисциплине является самостоятельной работой обучающегося и осуществляется в форме выполнения домашнего задания.

Методические указания по подготовке к промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачёта. Примерный перечень вопросов к зачёту и критерии оценки ответа обучающегося в целях унификации процедуры оценки достижения заявленных индикаторов сформированности компетенций приведены в составе ФОС.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (зачёта).

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1. Критерии оценки результатов обучения. Обучающийся:

ПК-2. Способен определять эксплуатационные характеристики; прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материалах ИПК-2.3. Выявляет причины производственного брака и несоответствия полимерных и композиционных материалов ***В том числе:*** – **знает** базовые принципы работы электронных микроскопов и электронных спектрометров различных типов; – **умеет** интерпретировать и анализировать результаты эмпирических исследований морфологии экспериментальных образцов при формировании заключения о составе и структуре изученных объектов; – **владеет** навыками использования методов прецизионного анализа морфологии образцов для выявления причин производственного брака и несоответствия полимерных и композиционных материалов требованиям заказчика.
ОПК-5. Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях ИОПК-5.2. Оценивает результаты научно-исследовательских разработок, обосновывает выбор оптимального решения, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов. ***В том числе:*** - **знает** методологию анализа результатов научных и производственных экспериментов и техники рационального выбора альтернатив, удовлетворяющих совокупности сформулированных критериев; - **умеет** систематизировать и обобщать результаты исследования морфологии экспериментальных образцов, полученные с использование различных техник и методов электронной микроскопии и спектроскопии; - **владеет** навыками компьютерного анализа результатов, полученных средствами сканирующей электронной микроскопии и спектрометрии

ЗАЧТЕНО:

Обучающийся владеет навыками компьютерного анализа результатов, полученных средствами сканирующей электронной микроскопии и спектрометрии, и использования методов прецизионного анализа морфологии образцов для выявления причин производственного брака и несоответствия полимерных и композиционных материалов требованиям заказчика.

Обучающийся умеет интерпретировать, анализировать, систематизировать и обобщать результаты эмпирических исследований морфологии экспериментальных образцов, полученные с использование различных техник и методов электронной микроскопии и спектроскопии, при формировании заключения о составе и структуре изученных объектов.

Обучающийся знает базовые принципы работы электронных микроскопов и электронных спектрометров различных типов, методологию анализа результатов научных и производственных экспериментов и техники рационального выбора альтернатив, удовлетворяющих совокупности сформулированных критериев в предметной области.

НЕ ЗАЧТЕНО:

Обучающийся не владеет навыками компьютерного анализа результатов, полученных средствами сканирующей электронной микроскопии и спектрометрии, и использования методов прецизионного анализа морфологии образцов для выявления причин производственного брака и несоответствия полимерных и композиционных материалов требованиям заказчика.

Обучающийся не умеет интерпретировать, анализировать, систематизировать и обобщать результаты эмпирических исследований морфологии экспериментальных образцов, полученные с использование различных техник и методов электронной микроскопии и спектроскопии, при формировании заключения о составе и структуре изученных объектов.

Обучающийся не знает базовые принципы работы электронных микроскопов и электронных спектрометров различных типов, методологию анализа результатов научных и производственных экспериментов и техники рационального выбора альтернатив, удовлетворяющих совокупности сформулированных критериев в предметной области.

7.2.2. Форма промежуточной аттестации: зачёт

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачёта проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». К промежуточной аттестации допускаются все обучающиеся, выполнившие виды учебной работы по дисциплине.

Шкала оценивания	Описание
зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

7.2.5. Критерии оценки результатов тестирования

Тестирование оценивается в соответствии с процентом правильных ответов, данных обучающимся на вопросы теста.

Стандартная шкала соответствия результатов тестирования выставляемой балльной оценке:

- «отлично» - свыше 75% правильных ответов;
- «хорошо» - от 50,1% до 75% правильных ответов;
- «удовлетворительно» - от 25,1% до 50% правильных ответов;
- от 0 до 25% правильных ответов – «неудовлетворительно»

«5» (отлично): тестируемый демонстрирует системные теоретические знания, владеет терминами и обладает способностью быстро реагировать на вопросы теста.

«4» (хорошо): тестируемый в целом демонстрирует системные теоретические знания, владеет большинством терминов и обладает способностью быстро реагировать на вопросы теста.
«3» (удовлетворительно): системные теоретические знания у тестируемого отсутствуют, он владеет некоторыми терминами и на вопросы теста реагирует достаточно медленно.
«2» (неудовлетворительно): системные теоретические знания у тестируемого отсутствуют, терминологией он не владеет и на вопросы теста реагирует медленно.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль (работа на практических и лабораторных занятиях)

Примеры заданий для рассмотрения на практических и лабораторных занятиях.

1) Чему равен характерный размер исследуемого объекта, если увеличение электронного микроскопа и размер сформированного изображения объекта известны?

2) Используя закон Ричардсона рассчитайте значение силы тока электронов, испускаемых термоэмиссионным источником, если известны работа выхода электронов материала и температура катода.

3) Используя закон Фаулера-Нордгейма оцените значение плотности тока, испускаемого автоэмиссионным источником, если известная напряжённость электрического поля и работа выхода материала катода.

4) Определите величину относительного приращения плотности тока электронов, испускаемых термополевым катодом электронной пушки, обусловленную изменением его температуры в заданное количество раз при постоянных и известных значениях напряжённости электрического поля, работы выхода электронов и расстояния до поверхности образца.

5) Установите значение тангенциальной скорости электрона вблизи края полюсного наконечника магнитной линзы, если известны величина радиальной составляющей магнитного поля и величина пути электрона в области действия радиально направленного поля.

6) Оцените количественно значение радиальной скорости электрона в центре зазора полюсного наконечника магнитной линзы, если известны величины тангенциальной и вертикальной компонент индукции магнитного поля, величины продольного и поперечного смещения электрона вблизи полюсного наконечника магнитной линзы, а также начальная скорость электрона.

7) Оцените количественно массовую долю некоторого элемента в анализируемом слое вещества если известны массовая доля элемента в стандарте и интенсивности характеристической линии в образце и в стандарте.

8) Во сколько раз ослаблена интенсивность характеристического излучения, испускаемого с заданной глубины образца известной плотности. Значение массового коэффициента поглощения на основной длине волны следует взять из таблицы.

9) Чему равен коэффициент вариации подчиняющегося распределению Пуассона количества электронов, регистрируемых детектором за определённое время, если вероятность одноактного фотоэффекта известна.

7.3.2. Текущий контроль (тестирование)

Примеры заданий для тестирования.

1) Пользуясь формулой Резерфорда оцените величину дифференциального сечения упругого рассеяния электронов известной энергии на ядрах атомов известного заряда при заданном угле рассеяния.

2) Оцените величину максимального импульса ядра атома известной массы, приобретаемого им в результате упругого рассеяния на нём электрона с известной скоростью.

3) Оцените величину максимальной кинетической энергии ядра атома известной массы, приобретаемого им в результате упругого рассеяния на на нём электрона с известной скоростью.

4) Оцените величины энергий ионизации внутренних электронных оболочек атома химического элемента с известным зарядовым числом для K-, L- и M- оболочек.

5) Чему равна длина волны коротковолновой границы спектра тормозного излучения пучка электронов, ускорявшихся в области пространства известной длины с известной величиной напряжённости электрического поля?

6) Чему равна плазменная частота возбуждаемых первичными электронами в металле коллективных колебаний, если известна концентрация электронов проводимости в нём?

7) Оцените величину глубины фокуса, если известны расходимость, минимальный диаметр электронного пучка и фактический диаметр пучка на поверхности образца.

8) Оцените контраст СЭМ-изображения по известным значениям минимальной и максимальной яркости формирующих изображение пикселей.

7.3.4. Промежуточный контроль (вопросы к зачету)

1. Профилометрическая парадигма исследования шероховатости поверхности.
2. Методы и возможности сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).
3. Как определяется величина увеличения микроскопа? Какие основные факторы лимитируют пространственное разрешение микроскопа? Как связана величина ускоряющего напряжения с пространственным разрешением микроскопа?
4. Основные типы зондовых микроскопов: атомно-силовой микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп и ближнепольный оптический микроскоп.
5. Какими должны быть величины давления остаточных газов в электронно-оптической системе и вакуумной камере микроскопа? С чем связаны подобные требования к вакууму?
6. Сравнительный анализ достоинств и недостатков сканирующей зондовой микроскопии.
7. Взаимосвязь между пространственным разрешением, кратностью увеличения и продолжительностью процесса эмпирического исследования образца в СЗМ.
8. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ).
9. Что такое пространственное разрешение микроскопа?
10. Возникновении и зависимость силы туннельного тока между остриём иглы кантилевера и поверхностью образца.
11. Методы сканирования в СТМ: постоянной высоты, постоянного туннельного тока.
12. Сравнительный анализ пространственного разрешения и чувствительности методов сканирования при исследовании гладких и шероховатых поверхностей в СТМ.
13. Методы достижения моноатомарного разрешения средствами СТМ.
14. Зависимость туннельного тока от работы выхода электронов, неоднородности планарного распределения атомов, управляющего напряжения в СТМ.
15. Определение вольтамперных характеристик туннельного контакта металл-металл и металл-полупроводник.
16. Принцип работы атомно-силового микроскопа (АСМ).
17. Зависимость силы Ван-дер-Ваальса между зондом и поверхностью от расстояния между ними. Особенности кантилеверов и пространственного сканирования в АСМ.
18. Режимы работы АСМ: контактный, полуконтактный, бесконтактный.
19. Сравнительный анализ точности, разрешающей способности и степени разрушения образца при использовании различных режимов работы АСМ.
20. Принцип работы оптического ближнепольного микроскопа (БОМ).
21. Оптическая система БОМ: источники излучения, зависимость разрешающей способности и качества изображений от характера частотной модуляции, дифракционный предел.
22. Особенности зондов и режимов сканирования в БОМ. Частотно-модулированное перемещение зонда. Режимы амплитудного и фазового контраста.
23. Классификация и сравнительный анализ методов электронной микроскопии.
24. Минимальный размер объекта, детектируемого с помощью электромагнитного излучения оптического частотного диапазона.
25. Сравнительный анализ показателей преломления для излучений различных частот.
26. Корпускулярно-волновой дуализм и волновая модель потока электронов.

27. Фундаментальные основы принципа работы электронного микроскопа: способы управление скоростью и направлением движения электронов; рассеяние электронов на поверхности образца.
28. Каковы энергии и глубина выхода вторичных электронов? Какого типа контраст получается при их регистрации?
29. Сравнительный анализ сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) и просвечивающих электронных микроскопов (ПЭМ).
30. Особенности взаимодействия электронных пучков с веществом: прохождение и обратное рассеяние первичных электронов, генерация вторичных электронов, характеристическое рентгеновское излучение, Оже-электроны и катодолюминесценция.
31. Какие электроны называются обратно-рассеянными? Почему обратно-рассеянные электроны несут информацию о композиционном составе образца?
32. Каков механизм возникновения характеристического рентгеновского излучения в СЭМ?
33. Энергодисперсионная (ЭДС) и волновая дисперсионная (ВДС) спектроскопия.
34. Принцип работы сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).
35. Какие величины электрического напряжения применяются в сканирующем электронном микроскопе, для каких целей?
36. Характерные размеры образцов, типовые материалы подложек и держателей СЭМ.
37. Пробоподготовка в СЭМ: требования к образцам по вакуум- и радиационной стойкости; техники удаление адсорбированных жидкостей и газов; очистка поверхности методом плазмохимической обработки.
38. Изготовление шлифов для СЭМ: горячее прессование, использование эпоксидных смол, наклеивание порошкообразных образов на держатель.
39. Основные направления исследований средствами СЭМ: определение формы частиц, однородности и состава материала; сравнительный анализ изображений поверхности, полученных в режимах вторичных и обратнорассеянных электронов.
40. Какие виды излучения могут возникать при взаимодействии электронного пучка с веществом?
41. Микроанализ средствами СЭМ: дисперсия энергии и спектр рассеянного образцом рентгеновского излучения.
42. Почему накопление электрического заряда на поверхности образца негативно сказывается на получение изображения в СЭМ?
43. Уравнение Вульфа-Брэгга дифракции рентгеновского излучения на детектирующем кристалле.
44. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ).
45. Сравнительный анализ достоинств, недостатков и областей применения ПЭМ и СЭМ.
46. Характерные размеры образцов; ускоряющее напряжение ПЭМ; геометрия взаимного расположения эммитирующего катода, образцов и датчиков.
47. Методы пробоподготовки для ПЭМ: химическое травление, димплинг, электрополировка, ионное травление, ультрамикротомия, диспергирование, скалывание, метод реплик.
ПЭМ-изображения, лауэграммы и дифракция.
48. Каковы основные методы наблюдения диэлектрических образцов средствами СЭМ?