

60-103

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта (ИМиАТ)
(Наименование института)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИМиАТ
Елкин А.И.
« 27 » июля 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Методы диагностики в нанотехнологиях
(наименование дисциплины)

направление подготовки / специальность

28.03.02 Наноинженерия
(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

Инженерные нанотехнологии в машиностроении
(направленность (профиль) подготовки))

г. Владимир

2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Методы диагностики в нанотехнологиях» является получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных технологий оптической, атомно-силовой и электронной микроскопии, рентгеновской спектроскопии и дифрактометрии; физико-химических основ их функционирования; основ моделирования данных процессов, анализе новых областей использования новых методов диагностики и испытаний наноматериалов в машиностроении; практических навыков в области диагностики.

Задачи:

- изучение диагностических комплексов для исследования наноматериалов и нанообъектов;
- изучение методов нанодиагностики материалов;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Методы диагностики в нанотехнологиях» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплины по выбору).

Дисциплина «Методы диагностики в нанотехнологиях» изучается в 7-ом семестре подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 после обязательного прохождения дисциплин «Введение в нанотехнологии», «Основы нанотехнологий в машиностроении», «Физика», «Материаловедение», «Физико-химические основы нанотехнологий». Дисциплина является основной в диагностике и испытаниях наноразмерных объектов и базовой для изучения последующих дисциплин ООП, в том числе «Оборудование нанотехнологичного производства», а также выпускной квалификационной работы.

При изучении дисциплины рассматриваются вопросы теоретического характера, а именно: классификация и основные проблемы технологий машиностроения, обзор высокотехнологических методов обработки в машиностроении, анализ областей использования нанотехнологий в машиностроении. Большое внимание уделяется изучению современного технологического оборудования в машиностроении, в том числе высокоскоростного и высокопроизводительного, тенденциям развития металлообрабатывающего инструмента. В рамках изучения дисциплины приобретаются *практические навыки работы* с оптическим, атомно-силовым и электронным микроскопом, подготовке образцов для оптической, атомно-силовой и электронной микроскопии; с рентгеновскими дифрактометрами и спектрометрами и подготовке образцов для этих исследований; а также навыки работы с полученными изображениями и результатами, компьютерной обработкой результатов.

Изучение данной дисциплины необходимо для выполнения выпускной квалификационной работы.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-5 Способен технологически обеспечивать производство изделий с	ПК-5.1. Знает типовые методы производства изделий с наноструктурированным керамическим покрытием.	Знает состав и устройство диагностических комплексов для диагностики изделий с наноструктурированными покрытиями.	Отчет по практической подготовке

наноструктуриро- ванным керамическим покрытием	ПК-5.2. Умеет планировать и проводить мероприятия по разработке изделий с наноструктурированным керамическим покрытием в части, касающейся технологического процесса. ПК-5.3. Владеет навыками выполнения технологических операций процесса производства изделий с наноструктурированным керамическим покрытием и обслуживания технологического оборудования.	Умеет подготавливать образцы для диагностики. Владеет общими навыками интерпретации и объяснения полученных результатов.	
---	--	---	--

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часа

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	СРП	в форме практической подготовки		
1	Раздел 1. Введение в курс. Методы сканирующей зондовой микроскопии. 1.1. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия. 1.2. Атомно-силовая микроскопия. 1.3. Электрические и оптические методики сканирующей зондовой микроскопии.	7	1-6	6	6	3	1	21	Рейтинг- контроль №1, СРП
2	Раздел 2. Методы электронной и оптической микроскопии. 2.1. Электронная растровая микроскопия. 2.2. Оптическая микроскопия. 2.3. Методы диагностики наноструктурированных покрытий.	7	7- 11	6	6	3	1	21	Рейтинг- контроль №2, СРП
3	Раздел 3. Методы рентгеновской диагностики и исследования материалов. 3.1. Рентгеноспектральный микрoанализ. 3.2. Методы рентгеновского флуоресцентного анализа и абсорбционной рентгеновской спектрометрии. 3.2. Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние.	7	12- 18	6	6	3	1	21	Рейтинг- контроль №3, СРП
Всего за 7 семестр:				18	18	9		63	Зачет

Наличие в дисциплине КП/КР								нет
Итого по дисциплине			18	18	9		63	Зачет

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение в курс. Методы сканирующей зондовой микроскопии

Тема 1.1. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.

Содержание темы.

Краткий обзор содержания курса. Введение и терминология. развития сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Физические основы работы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Функция состояния системы, уравнение Шредингера. Туннельный эффект. Туннельный эффект в квазиклассическом приближении. Зонная структура металлов, энергетическое распределение электронов в металле. Туннельный ток в системах металл-диэлектрик-металл и металл-диэлектрик-полупроводник. Устройство и принцип работы СТМ: туннельный сенсор, требования и методы изготовления туннельных зондов, режимы постоянного тока и постоянной высоты. Ограничения СТМ. Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. "Наблюдаемые" физические величины в СТМ. Измерение характеристики ток-расстояние и локальной работы выхода. СТМ спектроскопия: измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта и распределения плотности электронных состояний. Примеры использования СТМ для исследования наноматериалов.

Тема 1.2. Атомно-силовая микроскопия.

Содержание темы.

Зондовые датчики для атомно-силовой микроскопии. Основные типы кантилеверов – зондовых датчиков, используемых в атомно-силовой микроскопии (АСМ). Технология изготовления кантилеверов. Потенциал взаимодействия зонда с образцом, зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом. Режимы работы АСМ: контактная АСМ, бесконтактная и полуконтактная АСМ. Особенности силового взаимодействия кантилеверов с поверхностью: упругие взаимодействия (задача Герца), капиллярные силы, сила Ван-дер-Ваальса, адгезионные силы, электростатическое и магнитное взаимодействие. Закон Гука и отклонения кантилевера под действием вертикальной (нормальной), продольной и поперечной сил. Тензор обратной жесткости кантилевера. Эффективная масса и собственная частота механических колебаний кантилевера.

Контактная атомно-силовая микроскопия. Устройство и принцип работы СЗМ в контактном режиме АСМ, оптический силовой сенсор. Режимы постоянной высоты и постоянной силы, назначение и принципы работы обратной связи. Предельное разрешение в контактном режиме. Недостатки контактной АСМ. Исследование механических свойств материалов с помощью контактной АСМ. Микроскопия сил трения: регистрация латеральных силы взаимодействия зонда и образца, вклады топографии и неоднородности коэффициента трения. Качественная интерпретация результатов микроскопии сил трения. Модуляционные методики на базе контактной АСМ. Микроскопия модуляции силы и атомно-силовая акустическая микроскопия: измерение пространственного распределения микротвердости, упругих констант, адгезионных свойств. Бесконтактная и полуконтактная методики атомно-силовой микроскопии

Теория колебаний кантилевера: свободные и вынужденные, линейные и нелинейные колебания кантилевера, моды колебаний. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом. Бесконтактный режим колебаний кантилевера. Полуконтактный режим колебаний кантилевера. Устройство и принцип работы СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах АСМ. Методы введения обратной связи для контроля расстояния между зондом и образцом. Метод отображения фазы. Преимущества бесконтактной и полуконтактной АСМ. Стратегия выбора оптимальных параметров колебаний кантилевера и режима сканирования при исследовании различного

типа объектов. Примеры использования бесконтактной и полуконтактной АСМ для исследования наноматериалов.

Тема 1.3. Электрические и оптические методики сканирующей зондовой микроскопии.
Содержание темы.

Контактные электрические методики сканирующей зондовой микроскопии

Исследование электрических свойств материалов с помощью СЗМ. Зондовые датчики для электрических методик измерения. Электромеханическое взаимодействие между кантилевером и образцом в контактном режиме. Сканирующая микроскопия сопротивления растекания. Контактная сканирующая емкостная микроскопия. Силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика. Сканирующая микроскопия нелинейной диэлектрической проницаемости. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в контактных электрических методиках СЗМ. Примеры СЗМ исследований кинетики нанодоменов в сегнетоэлектриках. Реализация электрических двухпроходных методик СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах. Особенности вынужденных колебаний кантилевера при электростатическом взаимодействии зонда с поверхностью при приложении постоянного и переменного электрического напряжения между зондом и образцом. Электрическая силовая микроскопия. Микроскопия поверхностного потенциала (метод зонда Кельвина). Сканирующая емкостная микроскопия. Особенности подбора параметров измерения на первом и втором проходах сканирования в различных методиках. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в двухпроходных электрических методиках СЗМ. *Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия.* Преимущества методов оптической микроскопии при исследовании материалов. Дифракционный предел пространственного разрешения классической оптической микроскопии. Идея конфокальной оптической микроскопии, повышение пространственного разрешения. Устройство и принцип работы сканирующего лазерного конфокального микроскопа, трехмерное сканирование, горизонтальное и вертикальное разрешение методики в сравнении с классической оптической микроскопией. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния: физические основы, техническая реализация и аналитические возможности. *Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия* Области ближнего и дальнего поля при прохождении света через субволновую диафрагму, преодоление оптического дифракционного предела, идея сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Устройство, принцип действия, типы используемых зондов и основные режимы работы сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Методика регистрации резонанса поперечных сил для контроля расстояния между зондом и поверхностью, реализация системы обратной связи и регистрации топографии поверхности. Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острого проводящего зонда.

Раздел 2. Методы электронной и оптической микроскопии.

Тема 2.1. Электронная растровая микроскопия.

Содержание темы. Физические основы растровой электронной микроскопии. Устройство и работа растрового электронного микроскопа. Подготовка объектов для исследований и особые требования к ним. Технические возможности растрового электронного микроскопа. Рентгеноспектральный микроанализ.

Тема 2.2. Оптическая микроскопия.

Содержание темы. Световая микроскопия. Методы световой микроскопии. Конфокальная микроскопия. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа. Устройство и работа рентгеноспектрального микроанализатора. Подготовка объектов для исследований и особые требования к ним. Технические возможности рентгеноспектрального микроанализатора.

Тема 2.3. Методы диагностики наноструктурированных покрытий.

Содержание темы. Устройство калотестера, трибометра и микрокомбитемтера. Стрэтч тестирование. Интерпретация физико-механических и трибологических характеристик аноструктурированных покрытий.

Раздел 3. Методы рентгеновского флуоресцентного анализа и абсорбционной рентгеновской спектromетрии.

Тема 3.1. Рентгеноспектральный микорoанализ.

Содержание темы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Физический принцип рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Эффективная работа выхода металла в контакте с диэлектриком. Асимметрия спектральных линий. Локальная плотность электронных состояний. Сдвиги энергии связи в наноклстерах металлов. Зарядовое состояние и электронная экранировка.

Тема 3.2. Методы рентгеновского флуоресцентного анализа (RFA) и абсорбционной рентгеновской спектromетрии (XAFS, EXAFS, XANES).

Содержание темы.

Тема 3.3. Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние (SAXS, GISAXS).

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение в курс. Методы сканирующей зондовой микроскопии.

Тема 1.1. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.

Содержание практических занятий: Основы сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии.

Тема 1.2. Атомно-силовая микроскопия.

Содержание практических занятий: Основы атомно-силовой микроскопии.

Методы исследования материалов с использованием атомно-силовой микроскопии.

Тема 1.3. Электрические и оптические методики сканирующей зондовой микроскопии.

Содержание практических/лабораторных занятий Методики диагностики материалов с использованием сканирующей туннельной микроскопии.

Раздел 2. Методы электронной и оптической микроскопии.

Тема 2.1. Электронная растровая микроскопия.

Содержание практических занятий: Основы электронной микроскопии.

Тема 2.2. Оптическая микроскопия.

Содержание практических занятий: Физические основы оптической микроскопии

Тема 2.3. Методы диагностики наноструктурированных покрытий.

Содержание практических/лабораторных занятий. Микро- и макроанализ металлических материалов методами оптической микрометрии

Раздел 3. Методы рентгеновского флуоресцентного анализа и абсорбционной рентгеновской спектromетрии.

Тема 3.1. Рентгеноспектральный микорoанализ

Содержание практических занятий: Основы рентгеновской диагностики

Тема 3.2. Методы рентгеновского флуоресцентного анализа (RFA) и абсорбционной рентгеновской спектromетрии (XAFS, EXAFS, XANES).

Содержание практических занятий: Основы рентгеновского флуоресцентного анализа.

Тема 3.3. Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние (SAXS, GISAXS).
Содержание практических занятий: Изучение установки дифрактометра малоуглового рассеяния. Определение искажений кристаллической решетки по данным рентгеновской дифракции.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости.

Вопросы к рейтинг-контролю №1

1. Расскажите общее устройство и принципы работы, присущие любому СЗМ.
2. Каковы основные типы сканеров, применяемых в СЗМ?
3. Какое основное физическое явление лежит в основе СЗМ?
4. Каким образом реализуется режим постоянной высоты СЗМ?
5. Каким образом реализуется режим постоянного тока СЗМ?
6. Какие ограничения на свойства исследуемых материалов накладывает СЗМ?
7. Каким образом реализуется режим сканирующей туннельной спектроскопии?
8. Приведите примеры использования СЗМ при исследовании наноматериалов.
9. Изобразите силовую кривую, характеризующую взаимодействие между зондом и поверхностью. Какие участки кривой каким основным режимам АСМ соответствуют?
10. Каким образом реализуется режим постоянной высоты в контактной АСМ?
11. Каким образом реализуется режим постоянной силы в контактной АСМ?
12. Какие деформации кантилевера регистрируются в режиме микроскопии сил трения?
13. Какие свойства поверхности могут быть измерены с помощью микроскопии модуляции силы и атомно-силовой акустической микроскопии?
14. Изобразите зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и поверхностью. Каким образом можно определить расстояния, на которых реализуется режим притяжения и режим отталкивания между зондом и поверхностью?
15. Каким образом реализуется режим отображения фазы в бесконтактной или полуконтактной АСМ? Какие дополнительные свойства материалов могут быть исследованы в этом режиме?
16. Какие основные типы артефактов могут наблюдаться на изображениях СЗМ?
17. В чем сущность двухпроходных методик СЗМ?
18. Какие измеряемые физические величины могут быть использованы в МСМ для получения магнитного контраста на изображениях?
19. Какие типы электромеханического взаимодействия возможны между кантилевером и образцом в контактном режиме?
20. Приведите несколько вариантов реализации двухпроходных методик СЗМ для измерения электрических свойств материалов.
21. В чем заключается эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда?
- 22/ Какие основные типы воздействий зонда на поверхность образца используются в режимах сканирующей зондовой литографии?
23. Какие существуют варианты визуализации изображений СЗМ?
24. Какие методы математической обработки могут быть использованы для коррекции изображений СЗМ?
25. Какие существуют методы статистического анализа изображений СЗМ? Какие объекты являются предметом анализа?

Вопросы к рейтинг-контролю №2

1. Что такое оже-эффект?
2. Назовите виды оже-спектроскопии, различающиеся по способу ионизации основного уровня.

3. Назовите характерные значения энергии первичных электронов, используемых в оже-электронной спектроскопии.
4. В чем преимущество дифференциального представления оже-спектров?
5. Чем определяется кинетическая энергия оже-электрона?
6. Почему для CVV оже-переходов ширина спектральных линий обычно больше, чем для ССС переходов?
7. Как видоизменяется форма спектральной линии оже-электронов в случае, когда энергия взаимодействия дырок в конечном состоянии велика по сравнению с шириной валентной зоны?
8. От чего зависит интенсивность оже-электронных линий?
9. Можно ли наблюдать оже-электронные спектры лития в газовой фазе и почему?
10. Каково пространственное разрешение метода ОЭС?
11. Что такое процесс Костера–Кронига?
12. Чем определяется разрешение в просвечивающем электронном микроскопе?
13. Какие виды электронов анализируются в сканирующем электронном микроскопе?
14. Какие известны зондовые методы анализа наносистем?
15. Что такое оптическая ближнепольная микроскопия и где она может быть использована?
16. Какие известны методы оптической спектроскопии наносистем и на чем основано их использование?
17. Какие ограничения накладывает дифракционный предел на пространственное разрешение классической оптической микроскопии?
18. Какое конструктивное решение реализовано в конфокальной оптической микроскопии для повышения пространственного разрешения?
19. Какие дополнительные возможности дает сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния?
20. В чем заключается основная идея реализации сканирующей ближнепольной оптической микроскопии, обеспечивающая многократное увеличение разрешающей способности методики?

Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. Оцените время заполнения 1 МЛ поверхности при $p=10^{-9}$ Торр и $T=300$ К.
2. Дайте физическую интерпретацию химического сдвига в рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).
3. Объясните различие измерения энергии связи в металлах и полупроводниках в РФЭС.
4. Обоснуйте плазмонный механизм формирования длины свободного пробега фотоэлектронов.
5. При каком режиме возбуждения остовных электронов (адиабатическом или внезапном) будет наблюдаться рождение электрон-дырочных пар?
6. Назовите необходимое условие существования спин-орбитального расщепления в РФЭС.
7. Объясните эффекты начального и конечного состояния в РФЭС.
8. Какие сателлиты могут наблюдаться в РФЭ спектрах?
9. Чем различается спин-орбитальное и мультиплетное расщепление?
10. Объясните причину асимметричной формы РФЭ спектров. В чем заключается явление ортогональной катастрофы Андерсона?
11. Зачем нужно охлаждать анод рентгеновской пушки?
12. Каков принцип работы полусферического анализатора?

13. Интерпретация зависимости длины свободного пробега электрона в твердом теле от его кинетической энергии.
14. Как реализуются измерения плотности электронных состояний и локальной работы выхода в СТМ? Можно ли строго определить локальную работу выхода и плотность состояний в данной точке? Или же СТМ позволяет только рассмотреть контраст этих величин по поверхности образца
15. Что такое уровень Ферми в металле? Нарисуйте зонную диаграмму туннельного контакта металл-металл при наличии напряжения смещения. Какие электроны на этой диаграмме вносят преимущественный вклад в ток?
16. Опишите основные методы изготовления СТМ-зондов и их параметры.
17. Требуется ли для проведения СТМ-исследований определенная степень вакуума? Если да, то какая? Если нет, то почему?
18. Методы и область применения рентгеновского флуоресцентного анализа (RFA)
19. Методы и область применения абсорбционной рентгеновской спектроскопии (XAFS, EXAFS, XANES)
20. Рентгенооптические методы исследования наноструктур: рефлектометрия, рефрактометрия, рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние (SAXS, GISAXS).

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

Вопросы к зачету

1. Основные термины и определения нанотехнологического производства.
2. Оборудование для нанотехнологий (классификация, основные типы и особенности).
3. Стандарты по оборудованию чистых помещений для нанотехнологий.
4. Чистые производственные помещения.
5. Установки для нанесения вакуумных упрочняющих покрытий.
6. Установки для получения нанотрубок и нановолокон.
7. Установки для механоактивации порошковых материалов.
8. Установки для лазерной микро и наномодификации поверхности.
9. Лазерные комплексы для закалки.
10. Установки селективного лазерного спекания.
11. Прессы горячего изостатического прессования.
12. Мельницы шаровые.
13. Установка для просеивания порошков.
14. Установки для получения PVD-покрытий.
14. Установки для получения CVD-покрытий.
15. Характеристики оборудования для нанесения наноструктурированных покрытий.
16. Виды измерительного оборудования нанообъектов.
17. Технические характеристики сканирующих зондовых микроскопов.
18. Основные характеристики анализаторов размеров частиц.
19. Автоматизированные измерительные комплексы нанообъектов.
20. Характеристика автоматизированных измерительных комплексов нанообъектов.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Для организации самостоятельной работы студентов (самостоятельной проработки теоретического материала, подготовки по лекционному материалу, подготовки к практическим занятиям) рекомендуются учебно-методические пособия и указания из основного и дополнительного списка, перечисленные в разделе 6 настоящей рабочей программы.

Темы для самостоятельной работы студентов

1. История развития сканирующей зондовой микроскопии.
2. Вычисление туннельного тока СТМ.
3. Атомное разрешение СТМ.
4. Виртуальные атомно-силовые микроскопы.
5. Технологии изготовления АСМ и СТМ-зондов.
6. Исследование механических свойств поверхностей методами АСМ.
7. Атомно-силовая микроскопия в биологии.
8. Тест-объекты для калибровки АСМ: сравнение характеристик.
9. Артефакты АСМ и методы борьбы с ними.
10. Возможности совмещения атомно-силового микроскопа с другими исследовательскими приборами.
11. Общее устройство и принципы работы СЗМ: зондовые датчики, сканирующие элементы, типы взаимодействия, роль обратной связи.
12. Основные типы сканирующих элементов и механизмов подвода и перемещения зонда относительно поверхности образца. Методы защиты СЗМ от механических вибраций, акустического воздействия и термических дрейфов.
13. Физические основы СТМ. Туннельный эффект в квази-классическом приближении. Туннельный ток в системах металл-диэлектрик-металл и металл-диэлектрик-полупроводник. Ограничения СТМ.
14. Устройство и принцип работы СТМ. Режимы постоянного тока и постоянной высоты, реализация атомарного разрешения, методы изготовления зондов.
15. Сканирующая туннельная спектроскопия и другие методики измерений, основанные на СТМ: измерение локальной работы выхода и распределения плотности электронных состояний, измерение кривых подвода и оценка качества зондов.
16. Кантилеверы – зондовые датчики для АСМ: основные типы, технология изготовления, геометрические и механические свойства.
17. Потенциал взаимодействия зонда с образцом в АСМ. Зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом – контактный, полуконтактный и бесконтактный режимы АСМ.
18. Устройство и принцип работы СЗМ в режиме контактной АСМ. Режимы постоянной высоты и постоянной силы, реализация атомарного разрешения. Ограничения методики контактной АСМ.
19. Исследование механических свойств материалов с помощью контактной АСМ. Микроскопия сил трения. Микроскопия модуляции силы. Атомно-силовая акустическая микроскопия.
20. Теория механических колебаний кантилевера. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом. Бесконтактный и полуконтактный режимы колебаний кантилевера.
21. Устройство и принцип работы СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах АСМ. Метод отображения фазы. Преимущества и недостатки бесконтактной и полуконтактной методик по сравнению с контактной АСМ.
22. Параметры, влияющие на качество и пространственное разрешение изображений, получаемых с помощью СЗМ, источники искажений и артефактов. Искажения, обусловленные несовершенством сканирующих элементов, и методы их компенсации. Влияние формы зондов на качество изображений, эффект конволюции.
23. Исследование магнитных свойств материалов методом МСМ. Особенности взаимодействия зонда, имеющего магнитное покрытие, с магнитным полем образца, проблема топографических артефактов и качество получаемых изображений.
24. Реализация двухпроходных магнитных методик. Квазистатические и колебательные методики магнитной силовой микроскопии.
25. Исследование электрических свойств материалов с помощью СЗМ. Зондовые датчики для электрических методик измерения. Электромеханическое взаимодействие между

кантилевером и образцом в контактном режиме. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в контактных электрических методиках.

26. Контактные электрические методики СЗМ: сканирующая микроскопия сопротивления растекания и контактная сканирующая емкостная микроскопия. Основные принципы реализации, измеряемые величины, примеры использования.

27. Контактные электрические методики СЗМ: силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика и сканирующая микроскопия нелинейной диэлектрической проницаемости. Основные принципы реализации, измеряемые величины, примеры использования.

28. Реализация электрических двухпроходных методик СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах. Особенности вынужденных колебаний кантилевера при электростатическом взаимодействии зонда с поверхностью при приложении постоянного и переменного электрического напряжения между зондом и образцом. Электрическая силовая микроскопия.

29. Микроскопия поверхностного потенциала (метод зонда Кельвина). Сканирующая емкостная микроскопия. Основные принципы реализации, измеряемые величины, примеры использования.

30. Преимущества методов оптической микроскопии по сравнению с другими типами микроскопии. Дифракционный предел пространственного разрешения классической оптической микроскопии. Идея конфокальной оптической микроскопии, повышение пространственного разрешения.

31. Принцип действия и реализация сканирующей лазерной конфокальной микроскопии, трехмерное сканирование, горизонтальное и вертикальное разрешение методики в сравнении с классической оптической микроскопией.

32. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния: физические основы, техническая реализация и аналитические возможности.

33. Области ближнего и дальнего поля при прохождении света через субволновую диафрагму, преодоление оптического дифракционного предела, идея сканирующего ближнепольного оптического микроскопа.

34. Устройство, принцип действия, типы используемых зондов и основные режимы работы сканирующего ближнепольного оптического микроскопа.

35. Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда.

36. Физические основы литографии в различных режимах СЗМ. Векторная и растровая зондовая литографии.

37. Обработка результатов СЗМ. Основные типы данных, получаемых при измерениях с помощью СЗМ и варианты их представления. Методы коррекции изображений на примере обработки результатов измерения топографии поверхности.

38. Количественный анализ изображений СЗМ. Использование преобразования Фурье и функции автокорреляции для определения геометрических характеристик периодических и квазирегулярных структур. Проведение статистического анализа изображений: определение шероховатости, статистика зерен, фрактальный анализ.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Нагорнов Ю.С., Ясников И.С., Тюрков М.Н. Способы исследования поверхности методами атомно-силовой и электронной микроскопии. Тольятти: ТГУ, 2012. 58 с.	2012	http://window.edu.ru/resource/127/80127/files/zond_microskop.pdf
2.Иваненко И.П. Анализ профиля поверхности методами атомно-силовой микроскопии	2018	http://physelec.phys.msu.ru/files/practice/AFM.pdf
	2009	https://www.researchgate.net/publication/319256378_ATOMNO-SILOVAA_MIKROSKOPIA_DLA_NANOTEHNOLOGII_I_DIAGNOSTIKI
4. Морозов В. В., Сысоев Э.П. Нанотехнологии в керамике: монография в 2-х частях [Электронный ресурс]. Ч.1. Наночастицы 2010 - 276 с. Ч.2: Нанопленки, нанопокрытия, наномембраны, нанотрубки, наностержни, нанопроволока. 2011 – 167 с. 2011.	2011	http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2226 . http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2487
5. "Технология и оборудование лазерной обработки: метод. указания к лаб. работам по курсу "Технология лазерной обработки". В 2 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс] / Б.М. Федоров, Н.А. Смирнова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.	2014	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703838310.html
Дополнительная литература		
1. Беляев, И.В. Информационный каталог современного экспериментального оборудования и научных приборов на базе научно-образовательных организаций и ведущих предприятий Владимирской области / И. В. Беляев, В. А. Кечин, Г. А. Гладкий; — Владимир: Владимирский гос. университет им. А.Г. и Н.Г.Столетовых (ВлГУ), 2011. 44 с.	2011	http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2993/1/00588.pdf
3. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Зондовая микроскопия» [Электронный ресурс] / сост. С. В. Кутровская [и др.] ; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ) .— Электронные текстовые данные (1 файл: 1,24 Мб) .— Владимир : Владимирский государственный университет имени	2017	http://dspace.www1.vlsu.ru/bitstream/123456789/6146/1/00687.pdf

Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), 2017 .— 52 с. : ил., цв. ил., табл. — Заглавие с титула экрана .— Библиогр.: с. 51-52 .— Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки.		
4. Комплексная разработка механических, электронных и программных компонентов технологического оборудования. Ч. 1. Функции, структура и элементная база систем автоматического управления [Электронный ресурс]: Ч.2. Устройство и программирование однокристальных микроконтроллеров [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / В.Т. Рябов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.	2012	http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0554.html http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0540.html

6.2. Периодические издания

1. Журнал ВАК «Наноинженерия»
2. Журнал ВАК «Российские нанотехнологии»

6.3. Интернет-ресурсы

<http://www.portalnano.ru/>
<http://www.ntsrf.info/>
<http://www.nanonewsnet.ru/>
<http://www.rusnanoforum.ru/>
<http://www.nanometer.ru/>

<http://www.ru-tech.ru/pub/nano>
<http://www.nanotech.ru/>
<http://nano-info.ru/>
<http://www.iacnano.ru/>
<http://www.nanoprom.net/>

Учебно-методические издания

1. Жданов А.В. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Жданов А.В. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Жданов А.В. Оценочные средства по дисциплине «Методы диагностики в нанотехнологиях» для студентов направления 28.03.02 [Электронный ресурс] / сост. Жданов А.В.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- 1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
- 2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 28.03.02 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
<http://op.vlsu.ru/index.php?id=169>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины указывается необходимое для обучения лицензионное программное обеспечение, оборудование, демонстрационные приборы, мультимедийные средства, учебные фильмы, тренажеры, карты, плакаты, наглядные пособия; требования к аудиториям – компьютерные классы, специально оборудованные аудитории и лаборатории и т.д.

Перечень используемого оборудования:

1. Лаборатория нанодиагностики и фемтосекундной лазерной техники (ауд. 118-4)

Краткая характеристика помещения:

Общая площадь – 102 кв.м (2 этажа). 1 этаж – лабораторное и производственное оборудование (67 кв.м), компьютерный класс на 16 посадочных мест; 2 этаж – вспомогательные помещения, кондиционер. Соответствуют нормам СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.4.3.1186-03, ППБ 01-03, СНИП 21-01-97, СНИП 23-05, НПБ 104-03

Оборудование:

1) Чистая комната:

2) установка фемтосекундная лазерная "упорядоченного наноструктурирования" (РФ):

- имеет 3 рабочих длины волны, ультрафиолет, зеленый, и инфракрасный луч.
- 2 участка обработки (100x100 мм; 20x20 мм с возможностью позиционирования с точностью до 2 нм)
- диаметр пучка около 60 микрон в случае поля 100x100 мм
- диаметр пучка от 0,5 микрон (зависит от используемого объектива)
- возможность обработки и диагностики проводящих, диэлектрических, прозрачных, непрозрачных материалов.

3) зондовая лаборатория "Интегра спектра" (РФ)

Уникальная интеграция Сканирующего Зондового Микроскопа с конфокальной микроскопией/спектроскопией люминесценции и комбинационного рассеяния (КР). Благодаря эффекту гигантского усиления КР позволяет проводить КР спектроскопию и получать изображения с разрешением в плоскости до 50 нм.

Система для конфокальной оптической микроскопии представляет собой комбинированную систему, включающую конфокальный сканирующий лазерный спектрометр высокого пространственного разрешения, оптический микроскоп и универсальный сканирующий зондовый микроскоп. Система способна работать в режиме регистрации пространственного, трехмерного распределения спектров люминесценции и комбинационного рассеяния света, а также в различных режимах сканирующей зондовой микроскопии, включая наноиндентацию, наноманипуляцию и нанолитографию.

Система для сканирующей зондовой микроскопии. Одновременно с оптическим наблюдением, ИНТЕГРА Спектра позволяет исследовать объект с помощью арсенала методов сканирующей зондовой микроскопии — АСМ, МСМ, СТМ, сканирующей ближнепольной микроскопии, силовой спектроскопии. Уникальное совмещение оптических и зондовых методов в одном приборе позволяет ставить комплексные эксперименты, в которых информация о распределении оптических свойств образца и его химического состава может быть наложена на распределение его механических, электрических, магнитных и других свойств.

Система для исследования оптических свойств объекта за пределом дифракции (флуоресценция, спектроскопия комбинационного рассеяния). Отличительной чертой Нанолaborатории ИНТЕГРА Спектра является возможность исследовать оптические свойства объектов за пределом дифракционных ограничений. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия и эффекты локального усиления комбинационного рассеяния (TERS — tip enhanced Raman scattering), дают возможность картировать распределение оптических свойств

(пропускание, рассеяние, поляризация света и др.), а также осуществлять спектроскопию комбинационного рассеяния с разрешением до 50 нм в плоскости XY.

Особенности

- Острые АСМ зонда и фокус лазерного пучка могут быть спозиционированы друг относительно друга с высокой точностью (необходимо для получения максимального эффекта КР-TERS)
- При использовании оптической схемы "на просвет" высокотемпературный объектив жестко встроен в основание АСМ. Это обеспечивает долговременную стабильность системы, необходимую для работы со слабыми сигналами
- Часть отраженного излучения используется для построения конфокального лазерного отражения
- Низкошумящая CCD камера с охлаждением до -70°C (квантовая эффективность до 90%) служит высокочувствительным детектором
- В качестве альтернативного детектора можно использовать лавинный фотодиод
- Гибкий выбор поляризационных устройств
- Все компоненты системы (АСМ, оптические и механические устройства) интегрированы с помощью единого программного обеспечения. большинство ключевых узлов и устройств системы (лазеры, решетки, диафрагмы, поляризаторы и т.д.) можно выбирать и / или настраивать прямо из программы
- Три разных схемы для работы с TERS

Применяется для исследования биологических объектов, контроля качества поверхностей оптических деталей, излучающих полупроводниковых структур, характеристик нанооптических и интегрально-оптических элементов, исследования характеристик нанoeлектронных элементов, в частности, спектров квантовых точек.

- Исследование соединительной ткани, ДНК, вирусов
- Определение характеристик оконечных оптических устройств
- Спектроскопические измерения
- Контроль химических реакций

4) дифрактометр малоуглового рассеяния SAXSess

Предназначен для анализа тонких пленок или жидкостей, может строить кристаллические решетки вещества, определять размер частиц от 10 до 100 нанометров в растворе. SAXSess позволяет исследовать нанометровые структуры от 0.2 нм до 150 нм. SAXSess может работать в режиме линейной коллимации для быстрого сбора данных изотропных образцов и в режиме точечной коллимации для изучения анизотропных (ориентированных) образцов. Две системы могут работать одновременно в режимах линейной и точечной коллимации, используя один рентгеновский источник и одну систему детектирования. Широкий набор держателей образцов позволяют исследовать практически любые типы образцов от очень низких до высоких температур. Система TrueSWAXS™ делает возможным получение информации о наноструктуре и фазовом состоянии образца за одно измерение. Системы детектирования SAXSess не нуждаются в сервисном обслуживании и обеспечивают превосходное разрешение. Быстрый сбор и совершенная обработка экспериментальных данных. Система SAXSess включает в себя специальный пакет программного обеспечения для быстрого сбора и всесторонней обработки данных. Источник рентгеновского излучения используемый в SAXSess имеет следующие особенности: долговременная стабильность работы и минимальную стоимость эксплуатации. Современная многослойная фокусирующая оптика обеспечивает высокоинтенсивный монохроматический рентгеновский пучок. Улучшенная система блока коллимации даёт сформированный первичный рентгеновский пучок и эффективно убирает паразитное рассеяние. Она определяет разрешение системы и гарантирует низкий фон. температура очень точно контролируется в диапазоне от -150 до 300°C . Существует большой выбор держателей под самые разные типы образцов. Полупрозрачный отсекающий первичного пучка позволяет точно определить нулевой

угол рассеяния и измерить интенсивность первичного пучка для определения коэффициента пропускания образца можно получать данные о мало- и широкоугловом рассеянии за одно измерение на одном и том же образце. Система SAXSess предлагает две высококлассные системы детектирования, которые можно использовать альтернативно на одном приборе SAXSess без необходимости изменения его настроек или конфигурации: • Система детектирования чувствительными пластинами обладает широким линейным динамическим диапазоном и покрывает углы рассеяния 2 до 40°. • Система детектирования CCD даёт возможность проводить автоматизированные измерения SAXS и измерения онлайн процессов во времени. Мощное и простое в работе программное обеспечение. Вместе с прибором SAXSess поставляется мощный пакет программ для сбора и оценки данных малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS). Оценка данных включает базовую обработку данных (получение средних значений, вычитание фона и т.д.), моделирование, устранение размытий и аппроксимацию.

5) Двухлучевой сканирующий УФ/Вид спектрофотометр LAMBDA 25

Двухлучевые сканирующие УФ/Вид спектрофотометры для рутинных и автоматических измерений. Эти приборы предназначены для различных промышленных, учебных, биологических и биохимических лабораторий и лабораторий по контролю окружающей среды. Они отличаются высокой стабильностью, гибкостью в выборе методов анализа, удобством представления и обработки полученных данных.

Ключевые особенности спектрофотометров серии Lambda:

Широкий выбор методов измерения – сканирование по длине волны, сканирование по времени (кинетические исследования) и количественный анализ (фотометрия)

Двухлучевая оптическая схема – высокие технические характеристики, точность и воспроизводимость получаемых данных

Высокая фотометрическая точность и низкий уровень шума – правильные и надежные результаты измерений при низких концентрациях аналита

Низкий уровень рассеянного света – измерения при высоких оптических плотностях

Встроенная система поверки прибора (IPV) – тестирование спектрофотометра на соответствие техническим характеристикам и требованиям GLP

Lambda 25 – спектрофотометр с фиксированной спектральной шириной щели 1 нм, соответствующий требованиям Американской, Европейской и другим национальным фармакопеям. Управление приборами, получение и обработка данных осуществляется с персонального компьютера с помощью ПО UV WinLab

Приборы могут комплектоваться кюветами различной длины и объема, системами автоматической смены кювет и термостатирования кювет (водяное и Пельтье); автодозатором, держателями для твердых образцов и гелей, интегрирующей сферой и волоконно-оптической системой для дистанционного анализа, приставками для анализа зеркального отражения и другими приставками и аксессуарами. Кроме того, на базе спектрофотометров могут быть сконфигурированы специальные системы для анализа растворимости лекарственных препаратов и проточно-инжекционная система для непрерывного поточного анализа.

6) Многофункциональный планшетный анализатор VICTOR X3 (PerkinElmer)

Многофункциональные анализаторы предназначены для различных видов детекции оптических сигналов в планшетном формате, за исключением радиометрических методов: фотометрия; УФ-фотометрия; флуоресценция; флуоресценция с разрешением по времени; поляризационная флуоресценция; люминесценция; AlphaScreen; Label-Free. Анализаторы PerkinElmer обладают превосходной чувствительностью, гибкостью по предлагаемым конфигурациям под различные пользовательские задачи и многофункциональностью, непревзойденными техническими характеристиками. Анализаторы PerkinElmer широко известны во всем мире и завоевали неоспоримую репутацию. Анализаторы могут

использоваться как для рутинных лабораторных исследований в научных и медицинских лабораториях, так и для высокопроизводительных приложений в фармацевтических и биотехнологических лабораториях. Области применения: молекулярная и клеточная биология; генетический анализ и генотипирование; иммуноферментный анализ и ферментативные реакции; анализ активности рецепторов и молекулярных взаимодействий; квантификация; токсикологические и бактериологические исследования и т.д. Анализаторы могут работать как самостоятельно, так и в составе многофункциональных роботизированных комплексов.

Технологии детекции

Флюоресценция: Измерение соотношения флюоресценции на двух длинах волн, Измерение флюоресценции снизу и сверху планшеты; *Поляризационная флюоресценция;* *Флюоресценция, отсроченная по времени (TRF):* Двухоконная TRF, Измерение эмиссии на двух длинах волн; *Люминесценция:* Постоянная люминесценция (Glow), Импульсная люминесценция (Flash), Двойная (комбинированная) люминесценция; *Фотометрия в видимой области;* *УФ-фотометрия*

Формат планшет: 1 - 1536-луночные планшеты

Встроенный шейкер: три режима: линейный орбитальный, двойной орбитальный

Встроенный температурный контроль: от + 2°C выше тем-ры окр. среды до 50°C

Опции: диспенсеры 1-4 канала; стекеры на 20 или 50 планшет; считыватель штрих-кодов; различные фильтры; ФЭУ красной области спектра для усовершенствования работы по технологиям LANCE и TR-FRET

2. Лаборатория рентгеновской диагностики материалов (ауд. 108-4)

Оборудование:

1. Рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE

D8 ADVANCE – это самый современный, на сегодняшний день, лабораторный дифрактометр из представленных на рынке. D8 ADVANCE позволяет решать практически весь комплекс существующих задач в области порошковой дифрактометрии. В приборе реализована принципиально новая концепция построения модульных систем DAVINCI.DESIGN, которая существенно упрощает процесс конфигурирования дифрактометра. Переход от геометрии Брегг-Брентано к параллельно-лучевой оптике происходит максимально быстро благодаря новой рентгенооптической TWIN-системе, в которой совмещены традиционные щели и зеркало Гёбеля, переключение между которыми происходит автоматически. Новая рентгеновская TWIST-трубка позволяет осуществлять переключение между точечным и линейным фокусом.

Дифрактометр D8 ADVANCE дает возможность проводить исследования материалов в различных условиях: охладить до температуры 10 K, нагревать до 2000°C, создавать условия с повышенной влажностью. При анализе в комнатных условиях специальные загрузчики образцов позволяют автоматизировать процесс измерения.

Важной составляющей частью современного дифрактометра является детектор. Решения от Bruker AXS включают в себя полный спектр точечных и позиционно-чувствительных детекторов. В дифрактометре D8 ADVANCE можно использовать энергодисперсионный детектор нового поколения SOL-XE и уже зарекомендовавшие себя в различных дифрактометрах от Bruker AXS динамические сцинтилляционные детекторы и линейные детекторы LynxEye и VANTEC-1.

- Качественный и количественный анализ кристаллических фаз.
- Структурный анализ.
- Определение размеров кристаллитов.
- Анализ структурных изменений кристаллических фаз при изменении температуры, влажности и давления с использованием соответствующих камер.
- Быстрый анализ с применением позиционно-чувствительного детектора.

- Автоматический режим сбора данных и дальнейшая обработка результатов программным пакетом DIFFRAC[®]

2. Рентгенофлуоресцентный спектрометр ARL ADVANT X Thermo Scientific (USA)

Технические характеристики:

- высокоэффективная рентгеновская трубка 4-го поколения с Rh анодом и тонким торцевым Be окном (0,075 мм);
- максимальная мощность 5 кВт;
- пропорциональный проточный детектор (3000 имп/сек);
- системы вращения проб и программируемых коллиматорных масок;
- диапазон анализируемых концентраций от 0,0001 до 100 %;
- двухкоординатный пробоподатчик на 98 кодированных позиций для проб в кассетах.

Направления использования:

- элементный анализ от Be до U (от ppb до 100%) образцов в виде металлов, прессованного и свободного порошка, стёкол и жидких проб;
- анализ масел, полимеров, цемента, горных пород, стёкол, металлов, руд, огнеупоров, геологических материалов.

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ

8.1. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

8.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ОВЗ

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видео-техникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видео увеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

8.3. Требования к фонду оценочных средств для лиц с ОВЗ

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице 1.

Таблица 1 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные лабораторные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к экзамену, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные лабораторные, самостоятельные	Преимущественно дистанционными методами

аппарата	работы, вопросы к экзамену	
С ограничениями по общемедицинским показателям	Тесты, письменные лабораторные, самостоятельные работы, вопросы к экзамену, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

8.4. Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы.

Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС
ВО по направлению 28.03.02 «Наноинженерия»

Рабочую программу составил к.т.н., доцент Морозов В.В.
(ФИО, подпись)

Рецензент:

(представитель работодателя) ООО «Конструкторское бюро технологий
машиностроения», генеральный директор


Дарсалия Р.Т.
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения
Протокол № 1 от 31.08.2021 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 28.03.02 «Наноинженерия»

Протокол № 1 от 31.08.2021 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В.

(ФИО, подпись)