

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева»



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

С.Н. Филатов

25 » 05 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Зондовая микроскопия»

Направление подготовки 28.04.03 Наноматериалы

Магистерская программа «Химическая технология наноматериалов»

Квалификация «магистр»

РАССМОТРЕНО И ОДОБРЕНО

На заседании Методической комиссии

Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

« 25 » мая 2021 г.

Председатель

Н.А. Макаров

Москва 2021

Программа составлена и.о. зав. кафедрой наноматериалов и нанотехнологии, д.х.н., профессором Королевой М.Ю.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры наноматериалов и нанотехнологии «28» апреля 2021 г., протокол №11.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **28.04.03 «Наноматериалы»**, рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Зондовая микроскопия»** относится к блоку дисциплин по выбору учебного плана, части, определяемой участниками образовательных отношений. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области методов анализа наноматериалов.

Цель дисциплины – формирование у обучающихся знаний о сканирующей зондовой микроскопии, ее теоретических основ, принципов работы и возможности использования для актуальных задач нанотехнологии и наноматериалов.

Задачи дисциплины:

- приобретении обучающимися знаний об устройстве и принципе работы сканирующего зондового микроскопа;
- формирование у обучающихся системных знаний в области методов сканирующей зондовой микроскопии;
- формирование у обучающихся понимания о возможностях и ограничениях использования методов сканирующего зондового микроскопа в различных областях наноматериалов, выработка на этой основе системного подхода к постановке и выполнению научных исследований в указанной области, способности анализировать и критически оценивать получаемые результаты, предлагать пути решения поставленных задач.

Дисциплина **«Зондовая микроскопия»** преподается в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

| Задача профессиональной деятельности | Объект или область знания | Код и наименование ПК | Код и наименование индикатора достижения ПК | Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции |
|---|--|---|---|--|
| Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский | | | | |
| <p>– проведение самостоятельных научно-исследовательских работ в области нанотехнологий, требующих широкой фундаментальной междисциплинарной подготовки и владения навыками современных экспериментальных методов;</p> <p>– исследование свойств наносистем и наноматериалов с помощью современных методов анализа; самостоятельная эксплуатация современного аналитического и синтетического оборудования приборов в соответствии с квалификацией.</p> | <p>– основные типы наноматериалов: различной размерности (0, 1, 2, 3-мерные, фрактальные кластеры), природы (неорганические, органические, смешанные); агрегатного состояния (жидкие, твердые, смешанного типа (гели, суспензии и пр.));</p> <p>– все виды исследовательского, контрольного, аналитического и испытательного оборудования для изучения структуры и свойств наноматериалов;</p> <p>– компьютерное программное обеспечение для обработки экспериментальных</p> | <p>ПК-1 Способен диагностировать структуру материала на микро и наноуровне</p> | <p>ПК-1.1 Знает методы исследования структуры материала на микро- и наноуровне</p> <p>ПК-1.3 Владеет опытом исследования структуры материала с использованием микроскопических, дифракционных, спектральных и термических методов анализа</p> | <p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт «26.006 Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «8» сентября 2015 г. № 604н Д Управление методами и средствами проведения исследований и разработок наноструктурированных композиционных материалов (уровень квалификации – 7)</p> |

| | | | | |
|---|--|---|---|---|
| | данных по исследованию наноматериалов и наносистем. | | | |
| <p>– проведение самостоятельных научно-исследовательских работ в области нанотехнологий, требующих широкой фундаментальной междисциплинарной подготовки и владения навыками современных экспериментальных методов;</p> <p>– выработка новых теоретических подходов и принципов дизайна наносистем и наноматериалов с заданными свойствами;</p> <p>– разработка новых высокоэффективных методов создания современных наносистем и наноматериалов;</p> <p>– способность к составлению</p> | <p>– основные типы наноматериалов: различной размерности (0, 1, 2, 3-мерные, фрактальные кластеры), природы (неорганические, органические, смешанные); агрегатного состояния (жидкие, твердые, смешанного типа (гели, суспензии и пр.));</p> <p>– все виды исследовательского, контрольного, аналитического и испытательного оборудования для изучения структуры и свойств наноматериалов;</p> <p>– компьютерное программное обеспечение для обработки экспериментальных данных по</p> | ПК-2 Способен осуществлять разработку и корректировку технологических процессов получения наноструктурированных материалов | ПК-2.2 Умеет проводить эксперимент по заданным методикам, обрабатывать и анализировать их результаты | <p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт «26.006 Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «8» сентября 2015 г. № 604н</p> <p>С Организация аналитического контроля этапов разработки наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами (уровень квалификации – 7)</p> <p>Д Управление методами и средствами проведения исследований и разработок</p> |

| | | | | |
|---|--|---|--|--|
| <p>методических документов при проведении научно-исследовательских и лабораторных работ; участие в экспериментальной и технико-проектной оптимизации существующих наукоемких методик создания наносистем и наноматериалов для успешной конкуренции на рынке идей и технологий.</p> | <p>исследованию наноматериалов и наносистем; – отчеты по научной работе, научные публикации в российских и зарубежных изданиях; – аналитические обзоры в области производства и исследования наноматериалов.</p> | | | <p>наноструктурированных композиционных материалов (уровень квалификации – 7) Профессиональный стандарт «40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «4» марта 2014 г. № 121н. В Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при исследовании самостоятельных тем (уровень квалификации – 7)</p> |
| <p>– анализ и обобщение результатов научно-исследовательских работ, поиск и анализ научной и технической информации в области нанотехнологий и смежных дисциплин для научной, патентной и маркетинговой поддержки проводимых фундаментальных исследований и технологических разработок,</p> | <p>– основные типы наноматериалов: различной размерности (0, 1, 2, 3-мерные, фрактальные кластеры), природы (неорганические, органические, смешанные) агрегатного состояния (жидкие, твердые, смешанного типа (гели, суспензии и пр.)); – компьютерное программное обеспечение для</p> | <p>ПК-3 Способен самостоятельно проводить научно-исследовательские работы по созданию, исследованию и применению наносистем и наноматериалов</p> | <p>ПК-3.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок</p> | <p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки. Профессиональный стандарт «26.006 Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов», утвержденный приказом</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|---|
| <p>– составление аналитических обзоров, самостоятельная подготовка публикаций в отечественных и зарубежных изданиях;</p> <p>– способность к составлению методических документов при проведении научно-исследовательских и лабораторных работ;</p> <p>участие в экспериментальной и технико-проектной оптимизации существующих наукоемких методик создания наносистем и наноматериалов для успешной конкуренции на рынке идей и технологий.</p> | <p>обработки экспериментальных данных по исследованию наноматериалов и наносистем;</p> <p>– отчеты по научной работе, научные публикации в российских и зарубежных изданиях;</p> <p>– аналитические обзоры в области производства и исследования наноматериалов.</p> | | | <p>Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «8» сентября 2015 г. № 604н</p> <p>Д Управление методами и средствами проведения исследований и разработок наноструктурированных композиционных материалов (уровень квалификации – 7)</p> <p>Профессиональный стандарт «40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «4» марта 2014 г. № 121н.</p> <p>Д Осуществление научного руководства в соответствующей области знаний (уровень квалификации – 7)</p> |
|--|--|--|--|---|

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- классификацию методов сканирующей зондовой микроскопии;
- устройство, принцип работы и физические основы сканирующих зондовых микроскопов;
- принципы реализации атомарного разрешения в сканирующих зондовых микроскопах;
- общие представления о разрешающей способности различных видов;
- возможности и области применения методов СЗМ для исследования наноматериалов.

Уметь:

- анализировать изображения и данные, полученных различными методами СЗМ;
- корректно определять морфологию нанообъектов и наноматериалов;
- использовать стандартные методики СЗМ для анализа наноматериалов;
- формулировать технические требования к объектам исследования.

Владеть:

- навыками обработки изображений, полученных различными методами СЗМ;
- принципами проведения эксперимента на современных приборах сканирующей зондовой микроскопии;
- методами работы с научной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам сканирующей зондовой микроскопии.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

| Вид учебной работы | Объем дисциплины | | |
|--|------------------|------------|------------|
| | ЗЕ | Акад. ч. | Астр. ч. |
| Общая трудоемкость дисциплины | 5 | 180 | 135 |
| Контактная работа – аудиторные занятия: | 1,41 | 51 | 38 |
| в том числе в форме практической подготовки | 0,11 | 4 | 3 |
| Лекции | 0,47 | 17 | 13 |
| Практические занятия (ПЗ) | 0,94 | 34 | 25 |
| в том числе в форме практической подготовки | 0,11 | 4 | 3 |
| Самостоятельная работа | 2,59 | 93 | 70 |
| в том числе в форме практической подготовки | 0,11 | 4 | 3 |
| Контактная самостоятельная работа | 2,59 | 0,4 | 0,3 |
| Самостоятельное изучение разделов дисциплины | | 92,6 | 69,7 |
| в том числе в форме практической подготовки | 0,11 | 4 | 3 |
| Вид контроля: | | | |
| Экзамен | 1 | 36 | 27 |
| Контактная работа – промежуточная аттестация | 1 | 0,4 | 0,3 |
| Подготовка к экзамену. | | 35,6 | 26,7 |
| Вид итогового контроля: | Экзамен | | |

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п.п | Раздел дисциплины | Академ. часов | | | | | | |
|----------|---|---------------|--------------------------------|-----------|---------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| | | Всего | в т.ч. в форме пр. подг. | Лекции | Прак. зан. | в т.ч. в форме пр. подг. | Сам. работа | в т.ч. в форме пр. подг. |
| 1 | Основы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) | 53 | - | 9 | 18 | - | 26 | - |
| 1.1 | Современные методы визуализации наноматериалов | 3 | - | 1 | 2 | - | - | - |
| 1.2 | Введение в сканирующую зондовую микроскопию (СЗМ) | 3 | - | 1 | 2 | - | - | - |
| 1.3 | Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). | 14 | - | 2 | 4 | - | 8 | - |
| 1.4 | Атомно-силовая микроскопия | 19 | - | 3 | 6 | - | 10 | - |
| 1.5 | Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия | 14 | - | 2 | 4 | - | 8 | - |
| 2 | Возможности и применение СЗМ | 23 | - | 4 | 8 | - | 11 | - |
| 2.1 | Другие виды СЗМ | 9 | - | 2 | 4 | - | 3 | - |
| 2.2 | Возможности СЗМ | 14 | - | 2 | 4 | - | 8 | - |
| 3 | Применение СЗМ | 32 | - | 4 | 8 | - | 20 | - |
| 3.1 | Применение СЗМ для исследования основных классов наноматериалов | 14 | 8 | 2 | 4 | 4 | 8 | 4 |
| 3.2 | Исследование биологических объектов с помощью СЗМ | 9 | - | 1 | 2 | - | 6 | - |
| 3.3 | Современные приборы и методы СЗМ | 9 | - | 1 | 2 | - | 6 | - |
| | Подготовка к экзамену | 36 | - | - | - | - | 36 | - |
| | Экзамен | 36 | - | - | - | - | - | - |
| | Итого | 180 | 8 | 17 | 34 | 4 | 93 | 4 |

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1 Основы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ)

Раздел 1.1 Современные методы визуализации наноматериалов

Современные методы визуализации и исследования нанообъектов и наноматериалов. Понятия разрешающей способности и дифракционного предела. Атомарное разрешение в современных методах исследования. Сравнение основных микроскопических методов (оптические, электронные, зондовые). Преимущества, недостатки и области применения сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Раздел 1.2. Введение в сканирующую зондовую микроскопию (СЗМ)

Современные методы визуализации нанообъектов. История развития сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Устройство и принцип работы сканирующих зондовых микроскопов. Основные элементы СЗМ. Сканеры. Система обратной связи. Зондовые датчики. Принцип формирования изображения в СЗМ. Защита от внешних воздействий. Классификация методов СЗМ. Сравнение разрешающей способности различных видов СЗМ.

Раздел 1.3. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)

Физические основы СТМ. Электронные структуры твердого тела и его поверхности. Туннельный эффект. Технические основы СТМ. Конструкции сканирующих туннельных микроскопов. Режимы работы СТМ. Метод постоянной тока. Метод постоянной высоты. Метод отображение работы выхода. Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. Ограничения СТМ. Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. Подготовка поверхности твердых тел для СТМ исследований.

Раздел 1.4. Атомно-силовая микроскопия (АСМ)

Силовое взаимодействие зондового датчика и образца. Потенциал Леннарда-Джонса. АСМ зонды: виды, способы изготовления, основные параметры. Конструкция АСМ. Способы регистрации отклонения кантилевера. Режимы работы АСМ. Контактная атомно-силовая микроскопия - метод постоянной высоты, метод постоянной силы, контактный метод рассогласования. Недостатки контактной АСМ. Полуконтактная атомно-силовая микроскопия. Преимущества и недостатки полуконтактной АСМ. Кривые зависимости силы от расстояния. Латеральное взаимодействие зонда и образца. Микроскопия латеральных сил. Разрешающая способность АСМ. Бесконтактная АСМ. Возможности бесконтактной АСМ. Использование органических молекул в качестве зондов для СЗМ. Нанотрубки – датчики СЗМ.

Раздел 1.4. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ)

Теоретические основы СБОМ. Эффективное преодоление оптического дифракционного предела. Зонды СБОМ: типы, изготовление. Конструкции ближнепольных оптических микроскопов. Контроль расстояния между зондом и поверхностью. Реализация системы обратной связи. Разрешающая способность СБОМ. Режимы работы и виды СБОМ. Конфигурация СБОМ с модулем ИК-Фурье.

Раздел 2 Возможности СЗМ.

Раздел 2.1. Другие виды СЗМ.

Микроскопия сил трения. Метод модуляции силы. Многопроходные методики работы СЗМ. Электросиловая микроскопия. Сканирующая емкостная микроскопия. Метод зонда Кельвина. Магнитная силовая микроскопия (МСМ). Принцип работы СЗМ в режиме МСМ. Квазистатические методики МСМ. Колебательные методики МСМ. Зондовые датчики для МСМ. Литография в СЗМ. СТМ, АСМ литография. Анодно-окислительная литография.

2.2. Возможности СЗМ

Преимущества и недостатки СЗМ. Стандарты СЗМ. Искажение изображения сканером. Искажения, связанные с зондовым датчиком. Искажения, связанные режимом работы СЗМ. Калибровка СЗМ. Принципы корректировки изображений СЗМ. Возможности атомно-силовой микроскопии в определении формы и размеров наночастиц металлов и их соединений. Методики восстановления реальной геометрии объектов исследования АСМ. Возможность проведения неразрушающих исследований с помощью АСМ.

Раздел 3 Применение СЗМ

Раздел 3.1. Применение СЗМ для исследования основных классов наноматериалов.

Атомарное разрешение, достигнутое с помощью СТМ. Применение МСМ. Применения ближнепольной оптики. Исследование водородных связей. Определение размеров и формы наночастиц. Исследования морфологии и локальных свойств полимерных материалов. Исследования магнитных наночастиц и структур методом МСМ. Вычисление адгезионных сил методом АСМ. Возможности и перспективы АСМ в исследовании синтетических химических волокон. Исследование надмолекулярной структуры полимеров и композитов. Использование СЗМ для исследования морфологии и процессов роста

Раздел 3.2. Исследование биологических объектов с помощью СЗМ.

Возможности измерения в жидкости. Приготовление образцов. Изучение ДНК. Исследования вирусов и бактерий. Исследование адгезионных взаимодействий. Использование СЗМ в различных средах. Возможности в исследовании белковых молекул с помощью СЗМ.

Раздел 3.3. Современные приборы и методы СЗМ.

Основные производители СЗМ. Формат данных в СЗМ. Варианты визуализации СЗМ изображений. Количественный анализ СЗМ изображений. Статистический анализ изображений, полученных с помощью СЗМ.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| № | В результате освоения дисциплины студент должен: | Раздел 1 | Раздел 2 | Раздел 3 | |
|--|---|---|-------------|-------------|---|
| Знать: | | | | | |
| 1 | – классификацию методов сканирующей зондовой микроскопии | + | | | |
| 2 | – устройство, принцип работы и физические основы сканирующих зондовых микроскопов | + | | | |
| 3 | – принципы реализации атомарного разрешения в сканирующих зондовых микроскопах | + | + | + | |
| 4 | – возможности и области применения методов СЗМ для исследования наноматериалов и функциональных материалов | + | + | + | |
| 5 | – общие представления о разрешающей способности различных видов | + | + | + | |
| Уметь: | | | | | |
| 6 | – анализировать изображения и данные, полученных различными методами СЗМ | | + | + | |
| 7 | – корректно определять морфологию нанообъектов и наноматериалов | | | + | |
| 8 | – формулировать технические требования к объектам исследования | | + | + | |
| 9 | – использовать стандартные методики СЗМ для анализа наноматериалов; | + | + | + | |
| Владеть: | | | | | |
| 10 | – навыками обработки изображений, полученных различными методами СЗМ | | + | + | |
| 11 | – принципами проведения эксперимента на современных приборах сканирующей зондовой микроскопии | | + | + | |
| 12 | – методами работы с научной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам сканирующей зондовой микроскопии | + | + | + | |
| В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения: | | | | | |
| | Код и наименование ПК | Код и наименование индикатора достижения ПК | | | |
| 13 | ПК-1 Способен диагностировать структуру материала на микро и наноуровне | ПК-1.1 Знает методы исследования структуры материала на микро- и наноуровне | + | + | + |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|---|
| 14 | | ПК-1.3 Владеет опытом исследования структуры материала с использованием микроскопических, дифракционных, спектральных и термических методов анализа | + | + | + |
| 15 | ПК-2 Способен осуществлять разработку и корректировку технологических процессов получения наноструктурированных материалов | ПК-2.2 Умеет проводить эксперимент по заданным методикам, обрабатывать и анализировать их результаты | + | + | + |
| 16 | ПК-3 Способен самостоятельно проводить научно-исследовательские работы по созданию, исследованию и применению наносистем и наноматериалов | ПК-3.2 Умеет выбирать методы и средства проведения исследований и разработок | + | + | + |

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

Примерные темы практических занятий по дисциплине

| № п/п | № раздела дисциплины | Темы практических занятий | Часы |
|-------|----------------------|--|------|
| 1 | 1 | Современные методы визуализации наноматериалов | 2 |
| 2 | 1 | Введение в сканирующую зондовую микроскопию (СЗМ) | 2 |
| 3 | 1 | Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). | 4 |
| 4 | 1 | Атомно-силовая микроскопия | 6 |
| 5 | 1 | Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия | 4 |
| 6 | 2 | Преимущества и недостатки сканирующей зондовой микроскопии. Принципы анализа и описания данных, полученных с помощью СЗМ | 4 |
| 7 | 2 | Количественный анализ данных СЗМ | 4 |
| 8 | 3 | Применение СЗМ в изучении наноматериалов | 4 |
| 9 | 3 | Исследование биологических объектов методами СЗМ | 2 |
| 10 | 3 | Современные приборы и методы СЗМ | 2 |

6.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Учебной программой дисциплины «Зондовая микроскопия» предусмотрена самостоятельная работа обучающегося в объеме 93 часов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам по материалу дисциплины;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров и конференций;
- участие в семинарах РХТУ им. Д.И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к сдаче зачета с оценкой по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая оценка за данную дисциплину складывается из оценки работы в семестре (максимально 60 баллов) и оценки, полученной на экзамене (максимально 40 баллов). Оценка текущей работы обучающегося в семестре складывается из оценок за выполнение

контрольных работ (до 40 баллов), подготовке научных докладов (до 20 баллов) по тематике дисциплины, максимальная оценка за работу в семестре – 60 баллов.

При оценке научных докладов оценивается качество докладов (глубина проработки темы, использование современных источников информации, в том числе зарубежных) и качество презентации доклада. Презентация докладов происходит на семинарских занятиях, причем остальные студенты задают вопросы докладчику и участвуют в обсуждении доклада.

8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1.

Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа состоит из 10 тестовых и 1 открытого вопроса. Ответ на открытый вопрос оценивается, исходя из 10 баллов. Ответы на вопросы тестовой части оцениваются, исходя из максимальной оценки 1 балл за вопрос.

Примеры тестовых вопросов (студентам предлагается сделать выбор из 4х вариантов ответов, вариантов ответов может быть более одного):

1. Что такое система обратной связи в СЗМ?
2. Что такое обратный пьезоэффект?
3. Что такое прямой пьезоэффект?
4. Какова зависимость силы туннельного тока от туннельного барьера (расстояния между иглой и образцом)?
5. В каком режиме работы СТМ получают атомарное разрешение?
6. В какой среде невозможно проводить измерения методом СЗМ?
7. Какое основное физическое явление лежит в основе СТМ?
8. Какой из зондовых датчиков пригоден для сканирующей ближнепольной оптической микроскопии?
9. Какой из зондовых датчиков пригоден для СТМ?
10. Какова величина области ближнего поля в СБОМ?
11. Что главным образом определяет разрешение в СТМ?
12. Какое основное физическое явление лежит в основе СТМ?
13. На каком из СЗМ нельзя достичь разрешения в 10 нм?
14. Из чего изготавливают зонды для СБОМ?
15. Как зонд подводится на расстояние нескольких ангстрем к поверхности?

Примеры открытых вопросов:

1. Что определяет разрешение в АСМ, а что в СТМ? Основные ограничения.
2. Какие предельные разрешения достигнуты сегодня в мире при помощи АСМ, СТМ и СБОМ? Принцип подготовки образцов для получения атомарного разрешения.
3. Какие конструкции сканеров применяются в СЗМ? Каковы их преимущества и недостатки?
4. Перечислите силы, возникающие между зондом и образцом.
5. Опишите режимы работы АСМ в зависимости от силы взаимодействия «зонд-образец».
6. Каковы преимущества и недостатки различных режимов работы АСМ?
7. Технология производства АСМ-зондов.
8. Методика изготовления зондовых датчиков для СТМ.

Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2.

Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа состоит из 10 тестовых и 1 открытого вопроса. Ответ на открытый вопрос оценивается, исходя из 10 баллов. Ответы на вопросы тестовой части оцениваются, исходя из максимальной оценки 1 балл за вопрос.

Примеры тестовых вопросов (студентам предлагается сделать выбор из 4х вариантов ответов, вариантов ответов может быть более одного):

1. Что такое “tip imaging” или эффект игловой свертки?
2. Как часто следует перекалибровывать сканер микроскопа?
3. Какая из методик АСМ не дает представление об электрофизических характеристиках поверхности?
4. Что главным образом определяет разрешение в СТМ?
5. Какие кантилеверы должны быть выбраны для проведения магнитно-силовой микроскопии?
6. Основное отличие квазистатических и колебательных методик МСМ.
7. Наногравировку (СЗМ литография) проводят с помощью?
8. Наночеканка (СЗМ литография) проводят с помощью?
9. Что такое «Shear-force»?

Примеры открытых вопросов:

1. Принцип реализации анодно-окислительной литографии.
2. Преимущества и недостатки СЗМ-литографии.
3. Опишите основные принципы калибровки сканирующего зондового микроскопа.
4. Что определяет разрешение в МСМ? Какие предельные разрешения достигнуты сегодня в мире при помощи МСМ?
5. Технология производства МСМ-зондов.
6. Какие методы (методики) СЗМ дают представление об электрофизических характеристиках образцов.
7. Исследование биологических образцов методом СЗМ.
8. Принципы корректировки изображений СЗМ

8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (Экзамен)

Максимальная оценка – 40 баллов. Экзамен состоит из двух вопросов. Максимальная оценка за каждый из вопросов – 20 баллов.

1. Режимы работы АСМ. Контактная атомно-силовая микроскопия. Недостатки контактной АСМ.
2. Полуконтактная и безконтактная атомно-силовая микроскопия. Преимущества бесконтактной и полуконтактной АСМ.
3. Преимущества и недостатки СЗМ. Искажение изображения сканером. Искажения, связанные с зондовым датчиком. Принципы корректировки изображений СЗМ
4. Преимущества и недостатки СЗМ. Искажения, связанные режимом работы СЗМ. Калибровка СЗМ. Возможности определения геометрических размеров с помощью СЗМ.
5. Туннельный эффект. Технические основы СТМ. Режимы работы СТМ. Метод постоянного тока. Метод постоянной высоты.
6. Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. Преимущества и ограничения СТМ.
7. Теоретические основы СБОМ. Эффективное преодоление оптического дифракционного предела. Зонды СБОМ. Разрешающая способность СБОМ. Конструкции ближнепольных оптических микроскопов.
8. Современное применение методов СЗМ. Атомарное разрешение, достигнутое с помощью СТМ, АСМ и СБОМ.
9. Многопроходные методики работы СЗМ. Магнитно-силовая микроскопия.
10. Литография в СЗМ. СТМ, АСМ литография. Преимущества и недостатки СЗМ литографии.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

8.3. Структура и примеры билетов для экзамена

Экзамен по дисциплине «Зондовая микроскопия» включает контрольные вопросы по всем разделам учебной программы дисциплины. Экзаменационный билет состоит из 2 вопросов, относящихся к разделам дисциплины. Вопросы билета предусматривают развернутые ответы обучающегося по обозначенной тематике. Ответы на вопросы экзаменационного билета оцениваются из 40 баллов следующим образом: каждый вопрос – по 20 баллов.

Пример экзаменационного билета:

| | |
|--|---|
| <p>«Утверждаю» Руководитель магистерской программы</p> <p>_____ (Подпись) _____ (И. О. Фамилия)</p> <p>«__» _____ 20__ г.</p> | Министерство науки и высшего образования РФ |
| | Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева |
| | Кафедра наноматериалов и нанотехнологии |
| | 28.04.03 «Наноматериалы» Магистерская программа – «Химическая технология наноматериалов» |
| | Зондовая микроскопия |
| Экзаменационный билет № 1 | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Режимы работы АСМ. Контактная атомно-силовая микроскопия. Недостатки контактной АСМ. 2. Современное применение методов СЗМ. Атомарное разрешение, достигнутое с помощью СТМ, АСМ и СБОМ. | |

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1 Рекомендуемая литература

А. Основная литература

1. Корнилов, В.М. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие / В.М. Корнилов, А.Ф. Галиев. — Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2011. — 24 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/49585> (дата обращения: 22.05.2020).

2. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин. — 2-е изд., испр. — Москва : Техносфера, 2014. — 176 с. — ISBN 978-5-94836-382-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/73521> (дата обращения: 22.05.2020).

Б. Дополнительная литература

1. Методы сканирующей зондовой микроскопии при исследовании структуры и свойств органических материалов : учебно-методическое пособие / составители И.Р. Набиуллин [и др.]. — Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2016. — 41 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/93053> (дата обращения: 22.05.2020).

2. Гаврилова, Н. Н. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов [Текст] : учебное пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. - 51 с. (эл. копия только в ИБЦ)

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.

Научно-технические журналы:

1. Журнал «Materials Characterization», ISSN 1044-5803;
2. Журнал «Micron», ISSN 0968-4328;
3. Журнал «Ultramicroscopy», ISSN 0304-3991;
4. Журнал «Journal of Physics D: Applied Physics», ISSN 0022-3727.

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

1. Интернет-сайт компании «НТ-МДТ»: <http://www.ntmdt.ru>
2. Ресурсы ELSEVIER: www.sciencedirect.com

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации дисциплины подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- компьютерные презентации и семинаров – 8, (общее количество слайдов – более 150; количество демонстрационных роликов – 15);
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – более 30);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – более 30).

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2021 составляет 1 716 243 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «Зондовая микроскопия» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

Перечень оборудования, необходимого в образовательном процессе, включает: лекционные учебные аудитории (оборудованные видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, и имеющие выход в Интернет), помещения для проведения практических занятий (оборудованные учебной мебелью), библиотеку (имеющую рабочие компьютерные места для аспирантов, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет).

11.2. Учебно-наглядные пособия:

Иллюстрации к разделам лекционного курса и практическим занятиям. Образцы наноматериалов, пригодные для исследования с помощью сканирующей зондовой микроскопии.

11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; локальная сеть с выходом в Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса;

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

| № п.п. | Наименование программного продукта | Реквизиты договора поставки | Количество лицензий | Срок окончания действия лицензии |
|---------------|--|--|--|--|
| 1. | Calculate Linux Desktop | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 2. | LibreOffice | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 3. | ABBYY FineReader | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 4. | 7-Zip | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 5. | Google Chrome | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 6. | VLC Media Player | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 7. | Discord | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 8. | Autodesk AutoCAD | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 9. | IntelliJ IDEA | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 10. | FreeCAD | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 11. | SMath Studio | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 12. | Corel Academic Site Standard | Контракт № 90-133ЭА/2021 от 07.09.2021 | Лицензия для активации на рабочих станциях, покрывает все рабочие места в университете | 12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта) |
| 13. | Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. | Контракт № 90-133ЭА/2021 от 07.09.2021 | 500 лицензий | 12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта) |
| 14. | GIMP | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |
| 15. | OBS (Open Broadcaster Software) Studio | Свободно распространяемое ПО | Не ограничено | Бессрочно |

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

| Наименование разделов | Основные показатели оценки | Формы и методы контроля и оценки |
|---|---|---|
| <p>Раздел 1. Основы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ)</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - классификацию методов сканирующей зондовой микроскопии; - устройство, принцип работы и физические основы сканирующих зондовых микроскопов; - общие представления о разрешающей способности различных видов сканирующих зондовых микроскопов; - принципы реализации атомарного разрешения в сканирующих зондовых микроскопах; - принцип и режимы работы различных видов сканирующих зондовых микроскопов. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать стандартные методики СЗМ для анализа наноматериалов. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами работы с научной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам сканирующей зондовой микроскопии. | <p>Контрольная работа № 1.</p> <p>Оценка на экзамене.</p> |
| <p>Раздел 2. Возможности СЗМ</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общие представления о разрешающей способности различных видов сканирующих зондовых микроскопов; - принципы реализации атомарного разрешения в сканирующих зондовых микроскопах; - принцип и режимы работы различных видов сканирующих зондовых микроскопов. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализировать изображения и данные, полученных различными методами СЗМ; - формулировать технические требования к объектам исследования. - использовать стандартные методики СЗМ для анализа наноматериалов. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками обработки изображений, полученных различными методами СЗМ - принципами проведения эксперимента на современных приборах сканирующей зондовой микроскопии. - методами работы с научной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам сканирующей зондовой микроскопии. | <p>Контрольная работа № 2.</p> <p>Оценка на экзамене.</p> |

| Наименование разделов | Основные показатели оценки | Формы и методы контроля и оценки |
|--|---|--|
| <p>Раздел 3. Применение СЗМ</p> | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общие представления о разрешающей способности различных видов сканирующих зондовых микроскопов; - принципы реализации атомарного разрешения в сканирующих зондовых микроскопах; - принцип и режимы работы различных видов сканирующих зондовых микроскопов. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализировать изображения и данные, полученных различными методами СЗМ; - корректно определять морфологию нанообъектов и наноматериалов; - использовать стандартные методики СЗМ для анализа наноматериалов; - формулировать технические требования к объектам исследования. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками обработки изображений, полученных различными методами СЗМ - принципами проведения эксперимента на современных приборах сканирующей зондовой микроскопии. - методами работы с научной литературой и электронно-библиотечными ресурсами по теоретическим и технологическим аспектам сканирующей зондовой микроскопии. | <p>Оценка за доклад</p> <p>Оценка на экзамене.</p> |

13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 05.04.2017 № 301);

- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программ бакалавриата, программ специалитета, программ магистратуры в РХТУ им. Д.И. Менделеева, принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 30.10.2019, протокол № 3, введенным в действие приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.11.2019 № 646А;

- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины
«Зондовая микроскопия»**

**основной образовательной программы
28.04.03 «Наноматериалы»**

код и наименование направления подготовки (специальности)

«Химическая технология наноматериалов»

наименование ООП

Форма обучения: очная

| Номер изменения/ дополнения | Содержание дополнения/изменения | Основание внесения изменения/дополнения |
|-----------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. | | протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г. |
| 2. | | протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г. |
| 3. | | протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г. |
| | | протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г. |
| | | протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г. |