

## Программа

### краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников высшей школы по направлению «Наноинженерия» на базе учебного курса «Методы микроскопии»

Цель: Изучение основных методов и средств проведения микроскопии, освоение базовых методик проведения научного эксперимента средствами микроскопии

Категория слушателей: преподаватели, ведущие обучение по программе бакалавра/магистра по направлению «Наноинженерия», учителя средних и среднеспециальных образовательных учреждений, реализующих чтение элективных курсов с элементами нанотехнологий

Срок обучения: 36 часов (18 очная, 18 заочная)

Форма обучения: очно-заочная с дистанционным обучением заочной формы

Режим очных занятий: 6 часов в день – 3 дня с отрывом от работы

*Задачами данного курса* является изучение:

- Методические аспекты преподавания курса в рамках реализации программ подготовки бакалавров/магистров по направлению «Наноинженерия» или элективных курсов в программах средней школы с элементами нанотехнологий.
- Получение теоретических и практических навыков работы с методами и средствами микроскопии;
- Классификация основных методов микроскопии;
- Изучение методов и средств сканирующей зондовой микроскопии;
- Изучение методов растровой электронной микроскопии;
- Изучение методов рентгеноспектрального микроанализа;
- Изучение методов и средств оптической микроскопии;
- Изучение областей применения различных методов микроскопии.

### Требования к уровню освоения учебного курса

Обучаемые должны:

- Знать:
  - Классификация основных методов микроскопии;
  - Функциональный состав и принцип работы приборов для проведения микроскопии;
  - Основные подходы и методики проведения микроскопии.
- Уметь:
  - Разрабатывать методику проведения микроскопии, удовлетворяющую функциональным требованиям и областям применения;
  - Проводить измерения нанообъектов и наносистем изучаемыми методами микроскопии;
- Иметь навыки:

- Применения различных методов микроскопии на широком классе средств микроскопии;
- Проведения научных экспериментов методами микроскопии и обработку их результатов.

Учебный курс «Методы микроскопии» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Московском Государственном Техническом Университете им. Н. Э. Баумана.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены основы проведения измерений различными методами и методиками, анализа результатов измерений. Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций:

**Лекция 1: Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование**

Общие сведения о наноразмерных структурах. Особенности свойств наноструктур. Термодинамические свойства. Свойства проводимости. Магнитные свойства. Применение наноструктур для создания элементов приборных устройств.

**Лекция 2: Исследование наноструктур с помощью сканирующей зондовой микроскопии**

Основные теоретические положения о методах микроскопии. Краткое описание используемого оборудования.

**Лекция 3: Растровая электронная микроскопия**

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.

**Лекция 4: Рентгеноспектральный микроанализ**

Физические основы рентгеноспектрального микроанализа. Устройство и работа рентгеноспектрального микроанализатора. Подготовка объектов для исследований и особые требования к ним. Технические возможности рентгеноспектрального микроанализатора.

**Лекция 5: Оптическая микроскопия**

Световая микроскопия. Методы световой микроскопии. Конфокальная микроскопия. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в прохождении студентами лабораторного практикума. Все практические занятия по курсу проходят в специализированной лабораторной аудитории, оборудованной техническими средствами – микроскопами, с помощью которых студенты проводят научные эксперименты методами микроскопии и обработку их результатов

Основные задания на лабораторный практикум:

- Подготовка и проведение СЗМ эксперимента, получение СЗМ изображения;
- Изучение методов визуализации изображения поверхности наноструктур, полученных с помощью СЗМ;
- Обработка и количественный анализ СЗМ-изображений;
- Изготовление зондов и исследование влияние их характеристик на результаты сканирования;
- Измерение резонансной частоты сканера, определение нелинейности сканера по тестовой решетке TGX1, исследование термодрейфа, определение формы зонда по

тестовой решетке TGT1. Электрохимическая перезаточка зонда и повторное определение формы зонда по тестовой решетке TGT1;

- Световая микроскопия;
- Эллисометрия;
- Спектрометрия;
- Профилометрия;
- Электронная микроскопия;
- Растровая микроскопия.

## Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 18 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте [nanolab.iu4.bmstu.ru](http://nanolab.iu4.bmstu.ru). Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

### **Тестовые вопросы** к курсу «Методы микроскопии»

#### **Лекция 1: Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование**

1. Нанотехнологическая граница составляет

- А) 1нм
- Б) 100нм
- В) 1мкм
- Г) 10мкм

Ответ:

2. К нанообъектам относят:

- А) Микроакселерометры
- Б) Клетки организмов
- В) Фотонные кристаллы
- Г) Топологические элементы микросхем

Ответ:

3. Фуллерен - это:

- А) Одна из аллотропных форм углерода
- Б) Структура, полученная в результате нековалентного синтеза
- В) Вид нанополимеров
- Г) Нуклеотид

Ответ:

4. С уменьшением размера элементарного структурного элемента наблюдается:

- А) Увеличение ширины запрещённой зоны
- Б) Сдвиг полосы поглощения в область больших энергий
- В) Переход к немонотонной зависимости электрических свойств от размеров
- Г) Всё вышеперечисленное

Ответ:

5. Как влияет наличие большого числа приповерхностных атомов на термические свойства материала?

- А) Увеличивается теплоёмкость
- Б) Убывает характеристическая температура
- В) Увеличивается температура плавления
- Г) Убывает фактор Дебая-Уоллера

Ответ:

## Лекция 2: Исследование наноструктур с помощью сканирующей зондовой микроскопии

1. Скорость сканирования в методе постоянного тока ограничивается:

- А) Плотностью электронных состояний на поверхности образца      Б) Электрической проводимостью образца  
В) Использованием системы обратной связи      Г) Величиной туннельного тока

Ответ:

2. Как туннельный ток зависит от расстояния зонд-образец?

- А) Экспоненциально      Б) Не зависит  
В) Линейно      Г) Логарифмически

Ответ:

3. Для поиска неоднородностей на большом гладком фоне используют:

- А) Метод модуляции силы      Б) Контактный метод рассогласования  
В) Метод постоянной силы      Г) Контактную ёмкостную микроскопию

Ответ:

4. Рельеф, получаемый методом зонда Кельвина представляет собой

- А) Распределение контактной разности потенциалов      Б) Характеристику изменения поверхностной ёмкости образца  
В) Доменную структуру поверхности      Г) Распределение по поверхности локального сопротивления образца

Ответ:

5. Какая из методик СТМ предусматривает временный разрыв обратной связи во время сканирования?

- А)  $I(z)$  спектроскопия      Б) Отображение плотности состояний  
В)  $I(v)$  спектроскопия      Г) Отображение работы выхода

Ответ:

6. Контактная ёмкостная микроскопия основана на:

- А) Изменении реакции зонда над поверхностью образца при приложении различных напряжений      Б) Постоянном контакте кантилевера с поверхностью  
В) Использовании постоянного напряжения смещения      Г) Применении полупроводников в качестве материала кантилевера

Ответ:

## Лекция 3: Растровая электронная микроскопия

1. Энергия Оже-электрона зависит от:

- А) Частоты возбуждающего излучения      Б) Амплитуды возбуждающего излучения  
В) Коэффициента преломления среды-образец      Г) Структуры энергетических уровней атома

Ответ:

2. Разрешающая способность микроскопа определяется:

- А) Площадью сечения или диаметром зонда      Б) Контрастом, создаваемым образцом и детекторной системой  
В) Областью генерации сигнала в образце      Г) Всем вышеперечисленным  
Ответ:

3. Сферическая аберрация возникает вследствие того, что:

- А) Электроны обладают различной скоростью (длиной волны)      Б) Электроны проходят на различных угловых расстояниях от оптической оси линзы  
В) Нарушена магнитная или геометрическая симметрия линзы      Г) Всё вышеперечисленное  
Ответ:

4. Стигматор - это:

- А) Система, корректирующая магнитное поле линзы      Б) Полюсный наконечник линзы  
В) Пара электромагнитных отклоняющих катушек      Г) Электронный зонд  
Ответ:

5. Протяжённость области генерации отражённых электронов возрастает при:

- А) Увеличении среднего атомного номера элементов образца      Б) Увеличении ускоряющего напряжения  
В) Увеличении угла между образцом и осью зонда      Г) Всё вышеперечисленное  
Ответ:

#### Лекция 4: Рентгеноспектральный микроанализ

3. В процессе рентгеноспектрального микроанализа определяется:

- А) Элементный состав образца      Б) Магнитные свойства образца  
В) Рельеф поверхности образца      Г) Радиоактивность образца  
Ответ:

2. Характеристическое рентгеновское излучение обусловлено:

- А) Торможением первичных электронов электрическим полем атомов      Б) Столкновением первичных электронов с электронами атомов  
В) Переходами электронов между энергетическими уровнями атомов      Г) Всем вышеперечисленным  
Ответ:

3. Поправка  $Z_i$  в методе ZAF обусловлена:

- А) Энергией зонда      Б) Отражением и торможением электронов  
В) излучением других элементов      Г) Всем вышеперечисленным  
Ответ:

4. Какой материал чаще всего применяют при напылении на поверхность шлифа неэлектропроводящих объектов?

- А) Алюминий      Б) Серебро  
В) Углерод      Г) Золото  
Ответ:



3. Определение структуры поверхности с помощью дифракции медленных электронов и дифракции быстрых электронов. Схема установки по дифракции медленных электронов.
4. Основные принципы работы СТМ – зависимость туннельного тока от расстояния, работа системы обратной связи. Получение атомарного разрешения в СТМ.
5. Метод вольт-амперных характеристик при изучении электронной структуры поверхности (сканирующая туннельная спектроскопия).
6. Сканирующая силовая микроскопия (ССМ) – основной принцип работы. Контактный и модуляционный режим работы.
7. Дальнодействующие и короткодействующие силы при взаимодействии микрозонда СЗМ с поверхностью.
8. Использование различных методов регистрации для визуализации топографических, трибологических, магнитных, электрических характеристик поверхности с нанометровым разрешением.
9. Особенности получения атомарного разрешения с помощью АСМ.
10. Основные принципы работы электронных и ионных микроскопов.
11. Исследование поверхности методами электронной спектроскопии. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
12. Химический сдвиг положения уровней – метод для определения типа адсорбции (химическая или физическая).

**Темы контрольных рефератов по курсу**  
**«Методы микроскопии»**

1. Методы сканирующей зондовой микроскопии
2. Сканирование поверхности средствами СЗМ и работы системы обратной связи
3. Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ)
4. Микроскопия латеральных сил (Lateral Force Microscopy)
5. Контактная электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) (Contact EFM)

**Учебно-тематический план**

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	В том числе (указать часы)			Форма контроля
			Семинары по тематике лекций (самостоятельное изучение, дистанционное общение преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Изучение материалов лекционных курсов подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое издание	
	«Методы микроскопии»	36 ч.	16 ч.	5 ч.	15 ч.	Контрольные вопросы
1.	Лекция 1: Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование		3 ч.	1 ч.		
2.	Лекция 2: Исследование наноструктур с помощью сканирующей зондовой микроскопии		4 ч.	1 ч.		
3.	Лекция 3: Растровая электронная микроскопия		4 ч.	1ч.		

4.	Лекция 4: Рентгеноспектральный микроанализ		3 ч.	1 ч.	
5.	Лекция 5: Оптическая микроскопия		3 ч.	1 ч.	
Итоговый контроль				Контрольные вопросы	

**Список литературы  
и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 16.**

1. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 112 с.
2. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
3. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. – М.: Физматлит, 2000. – 224 с.
4. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000. – 248 с.
5. Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикрокристаллические и нанокристаллические металлы и сплавы. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. – 279 с.
6. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия, 2000. – 672 с.
7. Сергеев Г.Б. Нанохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 288 с.
8. Физика наноразмерных систем / А.Я. Шик, Л.Г. Бакуева, С.Ф. Мусихин, С.А. Рыков; Под. Ред. А.Я. Шика. – Спб.: Наука, 2001. – 160 с.
9. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века / Пер. с англ. Под. Ред. Л.А. Чернозатонского. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.
10. Nanomaterials. Synthesis, Properties and Applications / Eds A.S. Edelstein, R.C. Sammarata. Bristol: Institute of Physics Publishing, 1998. – 596 p.
11. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Изд. Центр «Академия», 2005. – 192 с.
12. Нанотехнологии в электронике. Под. Ред. Ю.А. Чаплыгина. М.: Техносфера, 2005. – 448 с.
13. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера, 2005. – 152 с.
14. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Нижний Новгород: РАН ИФМ, 2004 – 114 с.
15. С.А. Рыков. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур. СПб: Наука, 2001.
16. СЗМ методики – материалы сайта [ru.ntmdt.ru](http://ru.ntmdt.ru) - <http://ru.ntmdt.ru/SPM-Techniques/>

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части  
учебного курса на сайте [nanolab.iu4.bmstu.ru](http://nanolab.iu4.bmstu.ru)**