

Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников высшей школы
по направлению
«Методы диагностики и исследования наноструктур»
на базе учебного курса

«Сканирующая зондовая микроскопия»

Цель: изучение физических принципов сканирующей зондовой микроскопии

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 36 часов

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 6 часов в день

Целью изучения курса является изучение физических основ метода сканирующей зондовой микроскопии – области знаний, имеющей большое значение для современного материаловедения, физики и химии тонких пленок, наноразмерных и молекулярных структур и его использования для исследования наноструктур и поверхности твердого тела. Задачи курса состоят в изучении основ методик сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) – сканирующей туннельной микроскопии(СТМ) и атомно-силовой микроскопии(АСМ), особенностей проведения СЗМ измерений для исследования наноструктур и поверхности твердого тела.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- Знать:
 - область применения Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ);
 - физические принципы методик СЗМ;
 - устройство оборудования для проведения исследований методами СЗМ;
- Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области применения СЗМ;
 - включать приобретенные знания о СЗМ в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
 - переносить полученных знания о СЗМ на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
 - о методах СЗМ;
 - о использовании методов СТМ для получения топографического изображения поверхностей;
 - Исследование электронной структуры нанобъектов на поверхности подложки методом СТС.

Научные работники должны:

- 1. Знать:
 - область применения сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ);
 - физические принципы СЗМ;
 - устройство оборудования для проведения исследований методом СЗМ;
- Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области применения СЗМ;
 - включать приобретенные знания о СЗМ в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;

- переносить полученные знания о СЗМ на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
 - о методах СЗМ;
 - о использовании методов СТМ для получения топографического изображения поверхностей;
 - Исследование электронной структуры нанобъектов на поверхности подложки методом СТС.

Учебный курс «Сканирующая зондовая микроскопия» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объемом знаний по выбранной тематике. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в Московском инженерно-физическом институте.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические основы метода Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Теоретическая часть учебного курса состоит из семи лекций:

Лекция 1. Введение.

Методы СЗМ. Историческая справка. Возможности методов СЗМ. Сопоставление пространственного разрешения различных микроскопических методов. Уникальные возможности СЗМ.

Лекция 2. Физические основы СТМ.

Физические основы СТМ. Устройство СТМ. Туннельный переход. Получение зависимости туннельного тока между образцом и зондом.

Лекция 3. Режимы работы СТМ.

Топографический режим. Токовый режим. Метод сканирующей туннельной спектроскопии (СТС). Исследование дифференциальной вольт-амперной характеристики (ВАХ).

Лекция 4. Аппаратура для СТМ.

Обзор устройства сканирующего туннельного микроскопа. Требования для устройств сканирования СТМ. Система виброизоляции.

Лекция 5. Физические основы АСМ.

Рассмотрены физические основы АСМ. Режимы работы атомно-силового микроскопа: контактный, бесконтактный, полуконтактный. Методика наноиндентирования. Методы детектирования отклонения кантилевера.

Лекция 6. Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Часть 1.

Использование методов СТМ для получения топографического изображения поверхностей. Исследование атомной структуры и морфологии отдельных нанокластеров методами СТМ/СТС. Примеры использования методов СЗМ для исследования наноструктур и поверхности твердого тела.

Лекция 7. Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Часть 2.

Исследование электронной структуры нанобъектов на поверхности подложки методом СТС. Использование методов СТМ/СТС для определения локальной работы выхода.

Исследование влияния вакуумного отжига на морфологию и электрические свойства сверхтонких слоев HfO_2 методами АСМ и СТМ.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в получении практических навыков по обработке и СЗМ изображений с помощью программ, входящих в стандартные программные комплекты управления СЗМ прибором, получение практических навыков по проведению СЗМ измерений с помощью приборов с оптической и частотно-модуляционной методикой регистрации сигнала.

1. Установить и научиться работать с программами обработки данных в комплекте программ прибора СММ2000 (Протон-МИЭТ) и прибора Nanoeducator (НТ-МДТ), на примере СЗМ изображений тестовых поверхностей: поверхность дифракционной решетки, зеркала, пирографита, слюды.

2. Ознакомление с процедурой подготовки к измерениям и управления измерениями с использованием СЗМ прибора СММ2000 (Протон-МИЭТ) и прибора Nanoeducator (НТ-МДТ), ознакомится с основными функциями программ управления этими приборами. Проведение СЗМ измерения с характерным размером области сканирования порядка 1 мкм x 1 мкм на приготовленных образцах на подложке. Обработка результатов.

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 www.nanoobr.ru. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

Тестовые вопросы к курсу

«Сканирующая зондовая микроскопия»

Лекция 1: Введение.

1. Наилучшим разрешением в плоскости обладают методы:

- А) СЗМ и ОМ
Б) ПЭМ и СЗМ
В) РЭМ и СЗМ

2. Отметьте неверное утверждение: Характерные особенности СЗМ:

- А) Возможность работы в широком диапазоне температур.
Б) Необходимость работы в условиях СВВ.
В) Широкий спектр исследуемых образцов.

Лекция 2: Физические основы СТМ.

1. Зонд СТМ представляет собой тонкую проводящую иглу с радиусом закругления острия...

- А) 3-4А
Б) 10А
В) 100А

2. Туннельный ток пропорционален...

- А) ...интегралу от плотности электронных
Б) энергии Ферми

состояний материала образца

Лекция 3: Режимы работы СТМ.

1. СТМ изображение представляет собой истинную топографию поверхности в том случае, если:

- А) исследуемая поверхность представляет собой непрерывную металл Б) плотность свободных и заполненных состояний поверхности образца одинакова.

2. Метод СТМ может использоваться для определения локальной работы выхода поверхности образца.

- А) Да. Б) Нет.

Лекция 4. Аппаратура для СТМ.

1. Материалом зондов СТМ служит проволока из платины диаметром:

- А) 500мкм Б) 500 нм
В) 0.05 мм

2. Метод СТМ может использоваться для определения локальной работы выхода поверхности образца.

- А) Да. Б) Нет.

Лекция 5. Физические основы АСМ.

1. Метод АСМ позволяет исследовать морфологию только проводящих образцов

- А) Да. Б) Нет.

2. В бесконтактном режиме расстояние между зондом и образцом составляет:

- А) 1-10 А Б) 10-100А
В) 1-1000А.

Лекция 6. Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Часть 1.

1. Метод СТМ позволяет измерять локальную твердость и вязкость образца.

А) Да.

Б) Нет.

2. Методом СТМ позволяет наблюдать процессы зарождения и роста островков новой фазы?

А) Да.

Б) Нет.

Лекция 7. Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Часть 2.

1. Для исследования электронной структуры нанокластеров на поверхности металлов используется метод:

А) АСМ

Б) СТМ

В) СТС

Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 20 вопросов

1. Какие методы включает в себя СЗМ?
2. Перечислите уникальные возможности методов СЗМ.
3. Почему оптические микроскопы не способны обеспечить атомное разрешение?
4. На каком эффекте основан метод СТМ?
5. Оцените величину туннельного тока при напряжении между зондом и образцом $V = 1$ В ($\rho_s = 0.5$ эВ⁻¹, $S = 1 \cdot 10^{-15}$ см² и $d = 0.4$ нм).
6. Что позволяет получить топографический режим работы микроскопа?
7. Почему СТМ-изображение поверхности, полученное в топографическом режиме не всегда отражает реальное расположение атомов? Каково условие, что СТМ-изображение представляет истинную топографию поверхности?
8. Чем различаются токовый и топографический режимы работы СТМ?
9. Что позволяет исследовать метод СТС?
10. Каким требованиям должно удовлетворять устройство сканирования СТМ?
11. Опишите систему виброизоляции микроскопа.
12. Какие требования предъявляются к материалу зонда СТМ?
13. Опишите схематично устройство сканирующего туннельного микроскопа.
14. Что позволяет исследовать метод АСМ?
15. Опишите принцип действия зонда АСМ.
16. Рассмотрите режимы работы АСМ.
17. Каковы методы детектирования отклонения кантилевера под действием межатомных сил?
18. Прокомментируйте возможности методов СТМ/СТС для исследований нанообъектов.
19. Каким образом можно определить локальную работу выхода образца с помощью СТМ?
20. Прокомментируйте возможности методов СЗМ для исследований нанообъектов. В чем состоят их достоинства и недостатки?

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса с применением знаний из дистанционной части курса.

Темы контрольных рефератов по курсу
«Сканирующая зондовая микроскопия»

1. Методы исследование атомной структуры и морфологии отдельных нанокластеров.
2. История развития методов СЗМ и их физические принципы.
3. Методика и последовательность проведения экспериментов по СЗМ.
4. Методы СТМ для получения топографического изображения поверхностей
5. Использование методов СЗМ для определения локальной работы выхода.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	<u>«Сканирующая зондовая микроскопия»</u>	36 ч.	14 ч.	4 ч.	18 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка)
1.	Лекция 1: Введение		2 ч.	0,5 ч.		
2.	Лекция 2: Физические основы СТМ.		2 ч.	0,5 ч.		Реферат
3.	Лекция 3: Режимы работы СТМ.		2 ч.	0,6 ч.		
4.	Лекция 4: Аппаратура для СТМ.		2 ч.	0,6 ч.		
5.	Лекция 5: Физические основы АСМ.		2 ч.	0,6 ч.		
6.	Лекция 6: Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Часть 1.		2 ч.	0,6 ч.		
7.	Лекция 7: Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Часть 2.		2 ч.	0,6 ч.		
Итоговый контроль				Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

Список литературы (основной и дополнительной), а также других видов учебно-методологических материалов и пособий, необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.).

Список литературы и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 6.

1. *Методы анализа поверхности*, под ред. А. Зандерны, - М.: Мир, 1979.
2. Д. Вудраф, Т. Делчар, *Современные методы исследования поверхности*, - М.: Мир, 1989.
3. В.Л. Миронов, *Основы сканирующей зондовой микроскопии*. - М.: Техносфера, 2004.

4. Д. Синдо, Т. Оикава, *Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия*. - М.: Техносфера, 2006.
5. Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин, Д. Джой, Ч. Фиори, Э. Лифшин, *Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ*. - М.: Мир, 1984.
6. В.Д. Борман, А.П. Менушенков, М.А. Пушкин, В.И. Троян В.Н. Тронин, *Физические основы методов исследования электронных свойств и локальной структуры функциональных наноматериалов для энергетики*, - Москва, 2009.

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части
учебного курса на сайте www.nanoobr.ru**