

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных**  
**работников высшей школы по направлению**  
**«Планарные материалы (пленки и покрытия, интерфейсы,**  
**молекулярные слои, гетероструктуры) и технологии их получения»**  
**на базе учебного курса**

**«Технические системы в нанотехнологиях и диагностика»**

Цель: изучение физических принципов технических систем, методов и способов, применяемых в нанотехнологиях для диагностики и контроля наноматериалов

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 24 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

*Целью данного курса* является ознакомление с техническими системами, методами и способами, применяемыми в нанотехнологиях для диагностики и контроля наноматериалов. Ознакомить слушателей с перспективами развития технических систем для нанотехнологий, диагностики наноматериалов. Раскрыть основные функциональные возможности технических систем для нанотехнологий. Сформировать необходимый опыт работы диагностическими методами в нанотехнологиях. Раскрыть основные принципы и подходы построения технических и диагностических систем для нанотехнологий.

**Требования к уровню освоения учебного курса**

Преподаватели должны:

- Знать:
  - область применения нанотехнологий;
  - физико-химические основы наноматериалов;
  - устройство технических систем для диагностики свойств материалов.
- Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области технических и диагностических систем для нанотехнологий;
  - включать приобретенные знания о технических и диагностических системах в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
  - переносить полученные знания о технических и диагностических системах на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
  - о теоретических моделях технических и диагностических систем;
  - о принципе построения технических и диагностических систем;
  - о методах анализа структур наноматериалов.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
  - область применения нанотехнологий;
  - физико-химические основы наноматериалов;
  - устройство технических систем для диагностики свойств материалов.
- 2.Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области технических и диагностических систем для нанотехнологий;
  - планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием технических систем нанотехнологий;
  - генерировать новые плодотворные научно-технические и инновационные идеи с использованием технических систем нанотехнологий;
  - переносить полученные знания о технических системах нанотехнологий на смежные предметные области и к использованию этих знаний для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности;
- 3.Иметь представление:
  - о принципе построения технических и диагностических систем;
  - о методах анализа структур наноматериалов.

Учебный курс «Микросистемные устройства» 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 физические основы технических систем, методы и способы, применяемые в нанотехнологиях для диагностики и контроля наноматериалов. Теоретическая часть учебного курса состоит из четырех лекций:

**Лекция 1: Молекулярно-лучевая эпитаксия.**

Основные понятия. Технологические методы нанесения пленок для наноструктур. Лазерная эпитаксия. Технология молекулярно-лучевой эпитаксии. Схема установки молекулярно-лучевой эпитаксии. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии для изготовления слоистых гетероструктур.

**Лекция 2: Зондовые технологии, нанолитография. Технологический комплекс “Нанофаб-100”.**

Характерные особенности зондовых методов литографии. Зондовые технологии, нанолитография. Технологический комплекс “Нанофаб-100”.

**Лекция 3: Оптическая микроскопия ближнего поля. Просвечивающие электронные микроскопы. Сканирующие электронные микроскопы.**

Оптическая микроскопия ближнего поля. Просвечивающие электронные микроскопы. Сканирующие электронные микроскопы.

**Лекция 4: Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовые микроскопы. Лазерная идентификация материалов.**

Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовые микроскопы. Физико-химические основы зондовой микроскопии. Лазерная идентификация материалов.

## Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 12 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru). Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

### Тестовые вопросы к курсу

#### «Микросистемные устройства»

#### Лекция 1: Основные понятия и определения, используемые в нанотехнологиях

1. Зачем нужна крекинг-трубка на выходе эффузионной As-ячейки при МЛЭ?

- А) Для фокусировки молекулярного пучка      Б) Для увеличения интенсивности пучка  
В) Для разложения крупных молекул на мелкие фрагменты      Г) Для соединения атомов As в молекулы As<sub>2</sub> и As<sub>4</sub>

Ответ:

2. Приставка ДБЭ для МЛЭ имеет в своем составе?

- А) Источник электронов с энергией 10 кэВ, направленный почти параллельно поверхности подложки, и фосфоресцирующий экран.      Б) Источник электронов с энергией 10 кэВ, направленный почти перпендикулярно поверхности подложки и видеокамеру  
В) Источник электронов с энергией 0,1 кэВ, направленный почти параллельно поверхности подложки, и видеокамеру      Г) Источник электронов с энергией 0,1 кэВ, направленный почти перпендикулярно поверхности подложки, и фосфоресцирующий экран.

Ответ:

3. Почему нельзя температуру обезгаживания при МЛЭ поднять выше примерно 400 С

- А) Около 500 С начинается интенсивная диффузия углерода из нержавеющей стали, из-за чего она ржавеет      Б) Около 400 С начинается интенсивная диффузия водорода из воздуха через нержавеющую сталь, нарушающая сверхвысокий вакуум  
В) Около 500 С начинается интенсивная диффузия углерода из нержавеющей стали, из-за чего она перестает обеспечивать сверхвысокий вакуум.      Г) Около 400 С начинается интенсивная диффузия водорода из воздуха через нержавеющую сталь, приводящая к образованию молекул углеводородов и воды на подложке

Ответ:

4. В чем суть двух способов калибровки скорости роста нанослоев при МЛЭ?

- А) Измерение потока из источника ионизационной лампой и счет монослоев по колебаниям интенсивности зеркального пятна ДБЭ      Б) Измерение потока из источника ионизационной лампой и счет монослоев по сдвигу частоты кварцевого резонатора.  
В) Измерение потока с поверхности      Г) Измерение потока с поверхности

подложки масспектрометром и счет  
монослоев по колебаниям интенсивности  
зеркального пятна ДБЭ  
Ответ:

подложки масспектрометром и счет  
монослоев по сдвигу частоты кварцевого  
резонатора.

## Лекция 2: Зондовые технологии, нанолитография. Технологический комплекс “Нанофаб-100”

1. Какие явления используются в зондовых нанотехнологиях?

- А) Электромагнитные излучения                      Б) Явления теплопереноса  
В) Явления близости и механического контакта    Г) Явления массопереноса

Ответ:

2. Куда попадают при туннелировании электроны из зоны проводимости зонда?

- А) В зону проводимости подложки (металла или полупроводника), или в свободные разрешенные поверхностные состояния                      Б) В зону проводимости и валентную зону подложки (металла или полупроводника);  
В) В валентную зону подложки (металла или полупроводника)                      Г) На занятые разрешенные поверхностные состояния

Ответ:

3. Что вызывает приложение разности потенциалов  $U_z$  (минус на зонде СТМ) между проводящими зондом и подложкой?

- А) Появление магнитного поля и потока электронов из зонда в пространство под зондом                      Б) Появление электрического поля и потока электронов из подложки в пространство под зондом  
В) Появление электрического поля и потока электронов из зонда в пространство под зондом                      Г) Ничего не вызывает

Ответ:

4. Каковы две характерные особенности зондовых методов нанотехнологии?

- А) Высокое электрическое поле и высокая плотность электрического тока                      Б) Малое электрическое поле и высокая плотность электрического тока  
В) Высокое электрическое поле и малая плотность электрического тока                      Г) Малое электрическое поле и малая плотность электрического тока

Ответ:

## Лекция 3: Оптическая микроскопия ближнего поля. Просвечивающие электронные микроскопы. Сканирующие электронные микроскопы

1. Какое давление характерно для сверхвысокого вакуума?

- А)  $10^{-6}$  Торр                      Б)  $10^{-12}$  Торр  
В)  $10^{-8}$  Торр                      Г)  $10^{-10}$  Торр

Ответ:

2. Какова характерная длина свободного пробега частиц газа при нормальных условиях??

- А) 0,1 мкм                      Б) 10 мкм  
В) 1 мкм                      Г) 100 мкм

Ответ:

3. В каком режиме работает зондовая силовая литография?

- А) В полуконтактном                      Б) В контактном

В) В синусоидальном

Г) В динамическом полуконтактном

Ответ:

4. Какой технологический аппарат используется в зондовой силовой литографии?

А) Атомно-силовой микроскоп (АСМ)

Б) Аппаратура микролитографии

В) Сканирующий туннельный микроскоп

Г) Оптический микроскоп ближнепольного действия

Ответ:

## **Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 18 вопросов**

- 1) С какой силой воздействует зонд атомно-силового микроскопа на покрытие.
- 2) Какие характерные размеры структур зондовой силовой литографии?
- 3) Какие вещества используются в качестве резистов-масок?
- 4) С какой силой воздействует зонд атомно-силового микроскопа на покрытие?
- 5) Какая деформация верхнего металлического слоя возникает в результате зондовой силовой литографии?
- 6) Какое соотношение между расстоянием между зондом о подложкой и длиной волны в зондовой оптической литографии?
- 7) Какое среднее время жизни частицы – атома или молекулы - в адсорбированном состоянии в потенциальной яме?
- 8) Какие процессы препятствуют атомному манипулированию?
- 9) Чем обусловлена нелинейность ВАХ нанодиода?
- 10) Чем обусловлен ток в сканирующей туннельной микроскопии?
- 11) В каких случаях возникает холодная полевая эмиссия?
- 12) Каков диаметр пятна туннельного тока СТМ на поверхности подложки?

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

### **Темы контрольных рефератов по курсу «Технические системы в нанотехнологиях и диагностика»**

1. Применение атомно-силового микроскопа в нанолитографии
2. Методы зондовой литографии.
3. Молекулярно-лучевая эпитаксия в нанотехнологиях.
4. Явление близости в оптической зондовой нанотехнологии.
5. Электронная зондовая нанотехнология.
6. Холодная полевая эмиссия электронов из металлического зонда
7. Явление механического контакта в зондовой силовой нанолитографии.
8. Технологические установки на основе СТМ и АСМ.

### **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>«Технические системы в нанотехнологиях и диагностика»</u>	24 ч.	10 ч.	2 ч.	12 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка)
1.	Лекция 1: Молекулярно-лучевая эпитаксия		2,5 ч.	0,5 ч.		Реферат
2.	Лекция 2: Зондовые технологии, нанолитография. Технологический комплекс “Нанофаб-100”		2,5 ч.	0,5 ч.		
3.	Лекция 3: Оптическая микроскопия ближнего поля. Просвечивающие электронные микроскопы. Сканирующие электронные микроскопы		2,5 ч.	0,5 ч.		
4.	Лекция 4: Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовые микроскопы. Лазерная идентификация материалов		2,5 ч.	0,5 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 – 8.**

1. Бом Д. Квантовая теория – М.: Наука, 1965.– 727 с.
2. Коулсон Ч. Валентность – М.: Мир, 1965.–427 с.
3. Ландсберг, П., ред. Задачи по термодинамике и статистической физике, Москва: Мир, 1974. 640 с. Пер. с англ. под ред. И.П.Базарова.
4. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики – М.: Наука, 1976.– 664 с.
5. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем – М.: Мир, 1989.–631 с.
6. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников – М.: Мир, 1990.–488 с.
7. Вольф Е.Л. Принципы электронной туннельной спектроскопии. Киев: Наукова думка, 1990. 455 с. Пер. с англ. под ред. В.М.Свистунова.
8. Херман М.. Полупроводниковые сверхрешетки. М., Мир, 1990. 250 с. Пер. с англ. под ред. Ю.В.Шмарцева

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