



**«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана»  
(МГТУ им. Н.Э.Баумана)**

---

Факультет : «Информатика и системы управления»

Кафедра ИУ4 : «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»

**Программа непрерывного и исследовательского обучения**

**Школа-лаборатория  
«Основы нанотехнологий»**

<b>Вид нагрузки</b>	<b>Кол-во</b>
Лекции	2
Ознакомительные экскурсии	2
Практические занятия	4
<b>Итого:</b>	<b>8</b>
<b>Проверка знаний:</b>	<b>Зачет</b>

**для обучающихся в средних образовательных учреждениях**

Программа составлена на основе образовательной программы высшего профессионального образования по направлению 211000 «Конструирование и технология производства ЭС» и адаптирована для обучающихся в средних образовательных учреждениях в соответствии с изучаемыми программами по общеобразовательным предметам математика, физика, история.

При изучении данного курса базовыми являются знания, приобретенные в школе по предметам "Химия", "Физика", "Математика", «Биология».

## 1. Содержание

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем
1.	Лекции	4 ч
2.	Ознакомительные экскурсии	3 экск.
3.	Практические занятия	3 занятия

**Цель программы:** изучение основных методов и средств микроскопии, освоение базовых методик проведения научного эксперимента средствами микроскопии.

### **Задачами программы являются:**

- ◆ 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.

Примечание. Изучение данной дисциплины базируется на следующих курсах (разделах курсов):

- ◆ «Основы нанотехнологий»;
- ◆ «Физика»;
- ◆ «Математическое моделирование МЭМС/НЭМС»;
- ◆ «Технологические процессы нанотехнологий».

После освоения данной дисциплины студент подготовлен для изучения следующих курсов учебного плана:

- ◆ исследовательской части курсового проекта, курсовых работ, квалификационной работы бакалавра;
- ◆ курса «Технологические процессы формирования микро- и наноструктур».

### **Знания, умения и навыки, получаемые после освоения программы:**

#### **Учащийся должен знать:**

- ◆ классификацию основных методов микроскопии;
- ◆ функциональный состав и принцип работы приборов для проведения микроскопии;
- ◆ основные подходы и методики проведения микроскопии.

#### **Учащийся должен уметь:**

- ◆ разрабатывать методику проведения микроскопии;
- ◆ проводить измерения нанообъектов и наносистем изучаемыми методами микроскопии.

#### **Учащийся должен иметь навыки:**

- ◆ применения различных методов микроскопии на широком классе средств микроскопии;
- ◆ проведения научных экспериментов методами микроскопии и обработки их результатов.

## Раздел 1. Лекции

№ п/п	Раздел программы	Лекции, ч.	Семинары, ч.	практикум, ч.	Литература
	весна/осень	34	–	34	
3.1	Базовый цикл: Введение в нанотехнологии	4	–	–	[6, 8, 20]
3.2	Базовый цикл: Основы микроскопии	4	–	–	[6, 8, 20]
3.3	Вариативная часть: Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)	4	–	4	[6, 8, 20]
3.4	Вариативная часть: Контактная сканирующая атомно-силовая микроскопия (КАСМ)	4	–	4	[6, 8, 20]
3.5	Вариативная часть: Прерывисто-контактная сканирующая силовая микроскопия	4	–	–	[6, 8, 20]
3.6	Вариативная часть: Бесконтактная атомно-силовая микроскопия (Noncontact AFM)	4	–	–	[6, 8, 20]
3.7	Вариативная часть: Многопроходные методики (Many-pass techniques)	4	–	4	[6]
3.8	Вариативная часть: Ближнеполюсная оптическая микроскопия (БОМ)	4	–	4	[6, 10]
3.9	Вариативная часть: Оптическая микроскопия	4	–	8	[6, 11]
3.10	Вариативная часть: Электронная микроскопия	4	–	6	[6, 8]

### Содержание

#### **3.1 Базовый цикл: Введение в нанотехнологии**

#### **3.2 Базовый цикл: Основы микроскопии**

#### **3.3. Вариативная часть: Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ).**

Метод постоянного тока (Constant Current mode), метод постоянной высоты (Constant Height mode), метод отображение работы выхода, метод  $I(z)$ -спектроскопии, метод  $I(V)$ -спектроскопии (or Current Imaging Tunneling Spectroscopy, CITS).

#### **3.4. Контактная сканирующая атомно-силовая микроскопия (КАСМ).**

Метод постоянной силы (Constant Force mode), метод постоянной высоты (Constant Height mode), контактный метод рассогласования (Contact Error mode), микроскопия латеральных сил (Lateral Force Microscopy), метод модуляции силы (Force Modulation mode), отображение силы растекания (Spreading Resistance Imaging), контактная электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) (Contact EFM), атомно-силовая акустическая микроскопия (АСАМ) (Atomic-force acoustic microscopy, AFAM), АСАМ-резонансная спектроскопия (AFAM Resonance Spectroscopy).

#### **3.5. Прерывисто-контактная сканирующая силовая микроскопия.**

Прерывисто-контактный метод, прерывисто-контактный метод рассогласования (Semicontact Error mode), метод отображения фазы (Phase Imaging mode).

#### **3.6. Бесконтактная атомно-силовая микроскопия (Noncontact AFM).**

Бесконтактный метод АСМ (Noncontact mode). Измерение рельефа поверхности с использованием колеблющегося с резонансной частотой зонда.

#### **3.7. Многопроходные методики (Many-pass techniques).**

Сканирующая ёмкостная микроскопия (СЭМ) (Scanning Capacitance Microscopy, SCM), метод зонда Кельвина (Kelvin Probe Microscopy), электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) (Electrostatic Force Microscopy, EFM), динамическая магнитно-силовая микроскопия (ДМСМ) (AC Magnetic Force Microscopy, AC MFM), статическая магнитно-силовая микроскопия (СМСМ) (DC Magnetic Force Microscopy, DC MFM).

#### **3.8. Ближнеполюсная оптическая микроскопия (БОМ).**

Формирование изображений при сканировании исследуемого образца диафрагмой с субволновым отверстием и регистрация его в виде распределения интенсивности оптического излучения в зависимости от положения диафрагмы.

#### **3.9. Оптическая микроскопия.**

Световая микроскопия, методы световой микроскопии, конфокальная микроскопия. Спектроскопия, раман-спектроскопия, оптическая профилометрия, эллипсометрия.

#### **3.10. Электронная микроскопия.**

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

## Раздел 4. Семинары

№ п/п	Тема семинара	Объем, ч.	Литература
Программой не предусмотрено		–	

## Раздел 5. Практические занятия

№ п/п	Тема лабораторной работы	Объем, ч.	Литература
весна/осень		34	
5.1	Базовая часть: Подготовка и проведение СЗМ-эксперимента, получение СЗМ-изображения	4	[6, 8, 20]
5.2	Базовая часть: Изучение методов визуализации изображения поверхности наноструктур, полученных с помощью СЗМ	4	[6, 8, 20]
5.3	Базовая часть: Обработка и количественный анализ СЗМ-изображений	4	[6, 8, 20]
5.4	Базовая часть: Изготовление зондов и исследование влияния их характеристик на результаты сканирования	4	[10]
5.5	Вариативная часть: 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	4	[6, 10]
5.6	Вариативная часть: Оптическая микроскопия: световая микроскопия	4	[6, 11]
5.7	Вариативная часть: Оптическая микроскопия: эллипсометрия	–	[6, 11]
5.8	Вариативная часть: Оптическая микроскопия: спектрометрия	–	[6, 11]
5.9	Вариативная часть: Оптическая микроскопия: профилометрия	–	[6, 11]
5.10	Вариативная часть: Электронная микроскопия	4	[6, 11]
5.11	Вариативная часть: Растровая микроскопия	6	[6, 11]

### Содержание

- 5.1. Лабораторная работа № 1.** Подготовка и проведение СЗМ-эксперимента, получение СЗМ-изображения.
- 5.2. Лабораторная работа № 2.** Изучение методов визуализации изображения поверхности наноструктур, полученных с помощью СЗМ.
- 5.3. Лабораторная работа № 3.** Обработка и количественный анализ СЗМ-изображений.
- 5.4. Лабораторная работа № 4.** Изготовление зондов и исследование влияния их характеристик на результаты сканирования. Электрохимическая перезаточка зонда и повторное определение формы зонда по тестовой решетке TGT1.
- 5.5. Лабораторная работа № 5.** Измерение резонансной частоты сканера, определение нелинейности сканера по тестовой решетке TGX1, исследование термодрейфа, определение формы зонда по тестовой решетке TGT1.
- 5.6. Лабораторная работа № 6.** Оптическая микроскопия: световая микроскопия.
- 5.7. Лабораторная работа № 7.** Оптическая микроскопия: эллипсометрия.
- 5.8. Лабораторная работа № 8.** Оптическая микроскопия: спектрометрия.
- 5.9. Лабораторная работа № 9.** Оптическая микроскопия: профилометрия.
- 5.10. Лабораторная работа № 10.** Электронная микроскопия.
- 5.11. Лабораторная работа № 11.** Растровая микроскопия.

## Раздел 6. Самостоятельная работа

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Объем, ч.	Литература
весна/осень			
6.1	Самостоятельная проработка курса лекций	3	[6, 8, 10, 11, 20]
6.2	Домашнее задание № 1. Оценка артефактов и коррекция искажений СЗМ-изображений	3	[6, 10]

### Содержание

- 6.1. Самостоятельная проработка курса лекций.** Самостоятельная проработка курса лекций проводится по литературе, приведенной в разделе 9.
- 6.2. Домашнее задание № 1.** Разработка программы и плана проведения СЗМ-эксперимента по исследованию поверхностей микро- и наноструктур по варианту задания.  
Выдача – 5-я неделя, сдача – 12-я неделя.

## Раздел 7. Проектная научно-исследовательская работа

№ п/п	Тема курсового проектирования, курсовой работы	Объем, ч.	Литература
Программой не предусмотрено		–	

## Раздел 8. Ознакомительные экскурсии

Ознакомительная экскурсия №1

Ознакомление с оборудованием лаборатории Микроскопии

Ознакомительная экскурсия №2

Ознакомление с оборудованием лаборатории Оптических исследований

Ознакомительная экскурсия №3

Ознакомление с оборудованием формирования микро- и наноструктур

## Раздел 9. Учебно-методические материалы

### Литература

1. Мышляев М. М., Бушнев Л. С., Колобов Ю. Р. Электронная микроскопия. – Томск: ТГУ, 1990.
2. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш [и др.]. – М.: Мир, 1968.
3. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
4. Методы анализа поверхностей / Под ред. А. Задерны. – М.: Мир, 1979.
5. Серия «Methods of Experimental Physics», «Solid State Physics: Surfaces» / Edited by Pobert L. Park and Max G. Lagally, Academic Press. – 1985. – V. 22.
6. Бухараев А. А., Овчинников Д. В., Бухараева А. А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей силовой микроскопии (обзор) // Заводская лаборатория. – 1997. – № 5. – С. 10–27.
7. Бухараев А. А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей туннельной микроскопии (обзор) // Заводская лаборатория. – 1994. – № 10. – С. 15–26.
8. Бахтизин Р. З. Сканирующая туннельная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 11. – С. 1–7.
9. Эдельман В. С. Сканирующая туннельная микроскопия (обзор) // ПТЭ. – 1989. – № 5. – С. 25.
10. Маслова Н. С., Панов В. И. Сканирующая туннельная микроскопия атомной структуры, электронных свойств и поверхностных химических реакций // УФН. – 1989. – Т. 157. – Вып. 1. – С. 185.
11. Арутюнов П. А., Толстихина А. Л. Атомно-силовая микроскопия в задачах проектирования приборов микро- и нанoeлектроники. Часть I // Микроэлектроника. – 1999. – Т. 28. – № 6. – С. 405–414. Часть II // Микроэлектроника. – 1999. – Т. 29. – № 1. – С. 13–22.
12. Вольф Е. Л. Принципы электронной туннельной спектроскопии // Под ред. В. М. Свистунова. –

### Для демонстрации на лекциях используются следующие пособия

1. Плакаты с изображением функциональных диаграмм методов микроскопии, методик проведения измерительных экспериментов.
2. Комплект мультимедийных презентаций по темам лекций и лабораторных работ.
3. Проведение всех практических занятий осуществляется в компьютерном классе с использованием учебных и демонстрационных версий прикладного ПО.

## Методические указания по изучению программы

1. Учитывая общую тенденцию сквозного внедрения нанотехнологий, а в частности, наноинженерии, на современных предприятиях и в повседневной жизни, изучение дисциплины должно организовываться как изучение системной, многовариантной проблемы, исследуемым объектам которой (технологическим процессам, методам проектирования и синтеза новых конструкторско-технологических решений) свойственны:
  - а) многообразие связей элементов, отражающих объективную реальность;
  - б) специфическая методология моделирования и проектирования;
  - в) особый научный и практический аппарат.
2. Методологически дисциплина должна строиться на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов с обязательным участием студентов в самостоятельном исследовании оригинальных частных задач синтеза типовых технологических процессов путем разработки концептуальных моделей.
3. Теоретические основы должны излагаться в такой мере, чтобы показать общие принципы применения современных методов микроскопии к решению конкретных задач. Содержание соответствующих тем разделов должно быть направлено на усиление роли фундаментальных знаний в теоретической и профессиональной подготовке студента, способствовать формированию у студента фундаментальных системных знаний, развивать творческие способности будущего специалиста.
4. Прикладные вопросы должны ориентировать студентов на решение типовых задач моделирования и проектирования ТП, выбор адекватных физическим процессам моделей, методов, алгоритмов, прикладных пакетов и технических средств, обладающих максимальной эффективностью. Поэтому во всех разделах предусмотрены темы, содержание которых связано с формированием и развитием у будущих специалистов практических навыков решения задач с использованием ЭВМ, САПР.

Программа составлена:

доцент, канд. техн. наук

А.А.Адамова

доцент, канд. техн. наук

А.И.Власов

профессор, д-р техн. наук

В.А.Шахнов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.