

### 3.1. ПРИМЕРНАЯ БАЗОВАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)



Утверждаю  
Первый проректор —  
проректор по учебной работе  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
\_\_\_\_\_ Б.В. Падалкин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Факультет «Информатика и системы управления»  
Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной  
аппаратуры»

#### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «Физико-химические основы электронных средств (ФХОЭС)»**

для направления подготовки (уровень бакалавриата):

12.03.01 «Приборостроение»

#### **Авторы программы:**

Власов А.А., доцент

Жалнин В.П., доцент

Селиванов К.В., доцент

Москва

Настоящая рабочая программа дисциплины устанавливает требования к знаниям и умениям студента, а также определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа разработана в соответствии с основной профессиональной образовательной программой (ОПОП) и учебным планом МГТУ им. Н.Э. Баумана, составленными на основе самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта (СУОС) по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение».

При освоении дисциплины планируется формирование компетенций, предусмотренных ОПОП на основе СУОС по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение» (уровень бакалавриата).

Для категорий «знать, уметь, владеть» планируется достижение результатов обучения (РО), вносящих на соответствующих уровнях вклад в формирование компетенций, предусмотренных основной профессиональной образовательной программой.

### **Раздел 1. Цели и задачи дисциплины**

**Цель дисциплины** изучение физико-химических основ приборостроения.

Предметом изучения являются технологические процессы, используемые для производства различных изделий приборостроения.

Материал курса является основой для дальнейшего изучения курсов «Технологическая подготовка производства», «Технология производства электронных средств», «Физические основы микроэлектроники».

**Задачей дисциплины является:**

формирование теоретических и практических навыков в области физико-химических основ приборостроения. Изучение физико-химических явлений, сопровождающих операции технологического процесса, методик выполнения базовых технологических процессов, особенностей устройства и применения технологического оборудования, методик контроля технологических параметров и параметров формируемых структур.

При освоении дисциплины планируется формирование компетенций, предусмотренных ОПОП на основе СУОС по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение».

При этом студенты изучают следующие разделы:

- Основные технологические процессы в приборостроении;
- Методы формообразования в приборостроении;
- Изготовление деталей из пластмасс и порошковых материалов;
- Методы очистки и модификации поверхности;
- Световая микроскопия;
- Отсчетные измерительные устройства;
- Оптические системы для инфракрасной области спектра.
- Оптические измерительные системы

- Оптические измерительные системы
- Исследование функциональных структур с помощью сканирующей зондовой микроскопии
- Рентгеноспектральный микроанализ
- Травление
- Электрохимическое полирование
- Основы вакуумной техники
- Функциональные покрытия и литографические процессы
- Гальванопластика и гальваностегия
- Электрофизические методы обработки
- Аддитивные технологии
- Лазерные технологии в формировании функциональных структур
- Электронно-лучевая обработка материалов
- Методы и средства Электронной гигиены

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

- «Математический анализ».
- Физика.
- Общая химия
- Неорганическая химия
- Информатика

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

- Технологическая подготовка производства
- Технология производства электронных средств
- Физические основы микроэлектроники
- Подготовка и защита ВКРБ;
- выполнения курсовых и дипломных проектов.

## **Раздел 2. Знания, умения и навыки, получаемые после освоения дисциплины**

### **2.1. Студент должен знать:**

- Методы удаления материалов с поверхности изделий.
- Методы нанесения материалов на поверхность изделий.
- Методы модификации материала поверхности изделий
- Технические эффекты, лежащие в основе технологий обработки поверхностей изделий.

**2.2. Студент должен уметь:**

- Проводить сопоставительный анализ различных технологий изготовления изделий.
- Составлять последовательность технологических операций изготовления изделий.
- Осуществлять расчет основных технологических режимов изготовления изделий.
- Применять на практике знания технологий изготовления изделий.
- Анализировать и проводить сравнительную оценку вариантов технологических цепочек изготовления изделий.
- Разрабатывать технологическую документацию.

**2.3. Студент должен владеть:**

Комплексным рассмотрением вопросов технологического проектирования изделий электронных средств.

Навыками разработки технологических операций изготовления изделий.

Навыками расчетов основных технологических режимов изготовления изделий электронных средств.

Навыками работы с контрольно-измерительной аппаратурой, в том числе сопряженной с персональной электронно-вычислительной машиной.

Навыками создания технологической документации изготовления изделий электронных средств.

**Раздел 3. Объём дисциплины по видам учебных занятий**

Виды учебной работы	Объем по семестрам, ч	
	Всего	1 семестр
<b>Объем дисциплины</b>	<b>102</b>	<b>102</b>
<b>1. Аудиторная работа</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
лекции (Л)	34	34
семинары (С)	17	17
лабораторные работы (ЛР)	17	17
<b>2. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	<b>34</b>	<b>34</b>
проработка учебного материала лекций	12	12
подготовка к семинарам	9	9
подготовка к рубежным контролям	9	9
подготовка к лабораторным работам	4	4
<b>Вид промежуточной аттестации обучающегося</b>		<b>зачет</b>

### Раздел 4. Содержание дисциплины

№ п/п	Тема модуля	Лекции	С	ЛР	СР
	3-й семестр	ч	ч	ч	ч
1	Методы удаления материалов с поверхности изделий	10	6	8	10
2	Методы нанесения материалов на поверхность изделий	12	6	4	12
3	Методы модификации материала поверхности и технические эффекты, лежащие в основе технологий обработки поверхностей изделий	12	5	5	12
<b>ИТОГО:</b>		34	17	17	34

### Содержание

№ п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
	<b>1 семестр</b>	
<b>1</b>	<b>«Методы удаления материалов с поверхности изделий»</b>	
	<b>Лекции</b>	<b>10</b>
1.1	Введение. Удаление материалов с поверхности изделий. Подготовка поверхности деталей. Характеристики типовых загрязнений.	4
1.2	Травление поверхности изделий. Травление материалов в жидких средах.	2
1.3	Вакуумно-плазменное травление. Основные закономерности, оборудование, области применения.	2
1.4	Контроль качества очистки деталей - 2 час.	2
	<b>Семинары</b>	<b>6</b>
С1.1	Расчет технологических режимов гальванического никелирования стальных деталей	2
С1.2	Расчет параметров электроэрозионной обработки металлов	2
С1.3	Расчет припуска Si пластины	2
	<b>Лабораторные работы (вариативно)</b>	<b>8</b>
ЛР1.1	Оптическая микроскопия	4
ЛР1.2	Ультразвуковая очистка образцов, контроль чистоты очистки	4
	<b>Самостоятельная работа</b>	<b>10</b>
СР1.1	Проработка учебного материала лекций	2
СР1.2	Подготовка к семинарам	3
СР1.3	Подготовка к рубежному контролю	3
СР1.4	Подготовка к лабораторным работам	2

№ п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
<b>2</b>	<b>«Методы нанесения материала на поверхность»</b>	
	<b>Лекции</b>	<b>12</b>
2.1	Нанесение материалов на поверхность с использованием химических процессов.	
2.2	Нанесение материалов на поверхность с использованием электрохимических процессов.	4
2.3	Формообразование с использованием электрохимических процессов. Гальванопластика.	2
2.4	Термохимические процессы и их применение в технологии покрытий - 4 час.	4
	<b>Семинары</b>	<b>6</b>
C2.1	Методы определения толщины напыляемой пленки	2
C2.2	Расчет технологических режимов лазерной сварки	2
C2.3	Расчет термического окисление кремния	2
	<b>Лабораторные работы(вариативно)</b>	4
ЛР2.1	Сканирующая зондовая микроскопия	4
	<b>Самостоятельная работа</b>	<b>12</b>
СР2.1	Проработка учебного материала лекций	3
СР2.2	Подготовка к семинарам	3
СР1.3	Подготовка к рубежному контролю	3
СР1.4	Подготовка к лабораторным работам	3
<b>3</b>	<b>«Методы модификации материала поверхности и технические эффекты, лежащие в основе обработки поверхностей»</b>	
	<b>Лекции</b>	<b>12</b>
3.1	Технические поля, применяемые для модификации. Назначение поверхностных оксидных и фосфатных пленок. Условия образования сплошных плотных поверхностных пленок.	2
3.2	Процессы окисления кремния в технологии интегральных схем. Требования, предъявляемые к оксидным пленкам кремния в производстве интегральных схем	4
3.3	Электрофизические методы обработки деталей электронных средств. Классификация и области применения электрофизических методов в технологии электронных средств.	2
3.4	Физико-химические явления и технологии, применяемые в наноразмерных структурах.	4

№ п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
	<b>Семинары</b>	<b>5</b>
СЗ.1	Расчет параметров диффузии примеси при формировании рабочей области р-n перехода	2
СЗ.2	Расчет технологических параметров катодного распыления поверхности мишени потоком ионов	3
	<b>Лабораторные работы(вариативно)</b>	<b>5</b>
ЛРЗ.1	Формирование вакуумной среды и измерение ее параметров	5
	<b>Самостоятельная работа</b>	<b>12</b>
СРЗ.1	Проработка учебного материала лекций	3
СРЗ.2	Подготовка к семинарам	2
СРЗ.3	Подготовка к рубежному контролю	3
СРЗ.4	Подготовка к лабораторным работам	4

### Раздел 5. Самостоятельная работа

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Объем, ч	Литература
	3-й семестр		
1	Самостоятельная проработка курса лекций	8	[1–5]
2	Подготовка к семинарам	8	[1–5]
3	Подготовка к рубежному контролю	9	[1–5]
4	Подготовка к лабораторным работам	9	[1–5]

### Содержание

**Самостоятельная проработка курса лекций.** Самостоятельная проработка курса лекций проводится по литературе, приведенной в разделе 6.

### Раздел 6. Учебно-методические материалы

#### Литература

1. Варламов, П. И. Технологические процессы в нанотехнологии. В 17 кн. Кн. 2 : учеб. пособие / П. И. Варламов, К. А. Елсуков, В. В. Макаруч - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 176 с.
2. Томилин В. Физико-химические основы технологии электронных средств : учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия ИЦ, 2010 – 407 с.
3. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П. Физико-химические основы технологии микроэлектроники. Серия «Нанотехнологии» т.1. М.: «Бином. Лаборатория знаний», 2010 – 392 с.
4. Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. М.: "Физматлит" 2009. – 450 с.
5. Смирнов В.И. Физико-химические основы технологии электронных средств учебное пособие / В. И. Смирнов. - Ульяновск: УлГТУ, 2005.- 112 с. 6. Стати-

ческие агрегаты бесперебойного питания / Г.Г. Адамия, Е.И. Беркович, А.С. Картавых и др.: Под ред. Ф.И. Ковалева – М.: Энергоатомиздат. 1992. 287 с. ил.

### 3.2. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой варианты экзаменационных билетов, перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий.

#### Варианты экзаменационных билетов

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1	
по курсу «Методы микроскопии»	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Методы сканирующей зондовой микроскопии, классификация.</li><li>2. Оптическая микроскопия: световая микроскопия, методы световой микроскопии, конфокальная микроскопия.</li><li>3. Объясните понятие пьезоэлектрического эффекта и принцип действия пьезоэлектрического двигателя. Опишите различные конструкции сканеров.</li></ol>	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2	
по курсу «Методы микроскопии»	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Принцип сканирования поверхности средствами СЗМ и работы системы обратной связи. Критерии выбора параметров сканирования.</li><li>2. Спектроскопия, раман-спектроскопия, оптическая профилометрия, эллипсометрия.</li><li>3. Многопроходные методики (Many-pass techniques).</li></ol>	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3	
по курсу «Методы микроскопии»	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Факторы, определяющие быстродействие, точность и стабильность слежения за микрорельефом.</li><li>2. Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ).</li><li>3. Дайте общую характеристику метода постоянного тока (Constant Current mode).</li></ol>	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4	
по курсу «Методы микроскопии»	
1. Общая характеристика метода постоянной высоты (Constant Height mode). 2. Прерывисто-контактная сканирующая силовая микроскопия. 3. Физические основы растровой электронной микроскопии.	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5	
по курсу «Методы микроскопии»	
1. Общая характеристика метода $I(z)$ -спектроскопии. 2. Дайте общую характеристику метода $I(V)$ -спектроскопии (or Current Imaging Tunneling Spectroscopy, CITS). 3. Дайте общую характеристику метода постоянной силы (Constant Force mode).	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6	
по курсу «Методы микроскопии»	
1. Контактный метод рассогласования (Contact Error mode). 2. Микроскопия латеральных сил (Lateral Force Microscopy). 3. Метод модуляции силы (Force Modulation mode).	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7	
по курсу «Методы микроскопии»	
1. Отображение силы растекания (Spreading Resistance Imaging). 2. Контактная электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) (Contact EFM). 3. Атомно-силовая акустическая микроскопия (АСАМ) (Atomic-force acoustic microscopy, AFAM).	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8	
по курсу «Методы микроскопии»	
1. АСАМ-резонансная спектроскопия (AFAM Resonance Spectroscopy). 2. Прерывисто-контактная сканирующая силовая микроскопия. 3. Устройство и работа растрового электронного микроскопа.	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9	
по курсу «Методы микроскопии»	
1. Особенности прерывисто-контактного метода рассогласования (Semicontact Error mode). 2. Метод отображения фазы (Phase Imaging mode). 3. Бесконтактная атомно-силовая микроскопия (Noncontact AFM).	
Утверждаю	В. А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

по курсу «Методы микроскопии»

1. Многопроходные методики (Many-pass techniques), их сравнительные характеристики.
2. Статическая магнитно-силовая микроскопия (СМСМ) (DC Magnetic Force Microscopy, DC MFM).
3. Динамическая магнитно-силовая микроскопия (ДМСМ) (AC Magnetic Force Microscopy, AC MFM).

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

## Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий

Модуль 1 "Методы удаления материалов с поверхности изделий"

Билет № 1

1. Цели технологической операции. Приведите примеры.
2. Стадии процесса очистки.
3. Очистка металлических изделий от окислов.
4. Физические эффекты, возникающие в Ультразвуковых полях.
5. Катодная очистка. Достоинства и недостатки.

Билет № 2

1. Понятие чистой поверхности. На что влияет чистота поверхности изделий?

2. Методы интенсификации (форсирования) процессов очистки поверхности изделий.
3. Классификация механических и комбинированных методов очистки.
4. Акустическая кавитация.
5. Метод контроля очистки косым пучком осветителя.

Билет № 3

1. Типичные загрязнения поверхности изделий.
2. Гидромеханическая очистка (на примере отмывки пластин кремния). Основные недостатки процесса.
3. Шлифование поверхности.
4. Классификация ультразвуковых методов обработки поверхности изделий. (использование физических эффектов, использование в технологиях, среды УЗ обработки).
5. Метод контроля очистки по смачиваемости.

Билет № 4

1. Растворители для обезжиривания. Краткая характеристика этих растворителей.

2. Химические методы интенсификации очистки.
3. Полирование поверхности.
4. Влияние давления на процесс УЗ очистки.
5. Трибометрический метод контроля очистки.

Билет № 5

1. Назовите разновидности воды, применяемой для очистки изделий. Для каких целей применяется каждая из них? Опишите способ получения каждой разновидности воды.

2. Этапы удаления загрязнений в водных растворах поверхностно-активных веществ.
3. Галтовка изделий.
4. Влияние частоты УЗ колебаний на процесс очистки.
5. Фотометрический метод контроля очистки.

## Билет № 6

1. Виды деионизованной воды. Для каких целей используется каждый вид. Способ получения деионизованной воды.
2. Удаление загрязнений в растворах комплексообразователей.
3. Крацевание поверхности изделий.
4. Влияние вязкости моющей среды на УЗ очистку.
5. Радиоизотопный метод контроля очистки.

## Билет № 7

1. Методы очистки и травления поверхности изделий.
2. Обезжиривание в щелочных растворах.
3. Эрозионные методы очистки.
4. Влияние температуры жидкости на процесс УЗ очистки.
5. Кондуктометрический метод контроля очистки.

## Билет № 8

1. Отмывка неполярных и полярных загрязнений.
2. Удаление неомыляемых масел.
3. Жидкостно-абразивная обработка.
4. Способы управления процессом УЗ очистки
5. Метод контроля очистки по контактному электрическому сопротивлению.

## Билет № 9

1. Методы физического обезжиривания.
2. Особенности применения поверхностно-активных веществ. На какие классы они делятся?
3. Струйная очистка поверхности изделий.
4. Электрохимическая отмывка.
5. Коррозионный метод контроля очистки.

## Билет № 10

1. Методы химического обезжиривания.
2. Позитивное и негативное влияние пенообразования поверхностно-активных веществ.
3. Ультразвуковая очистка поверхности изделий.
4. Физическая сущность электрохимического обезжиривания.
5. Контроль очистки по методу восстановления благородных металлов.

## Модуль 2 " Методы нанесения материалов на поверхность "

## Билет № 1

1. Жидкостное травление деталей химическим способом. Назовите этапы травления.
2. Электрохимическое полирование
3. Классификация процессов ионно-плазменного травления
4. Оптическая система микроскопа
5. Раман спектроскопия.

## Билет № 2

1. Скорость процесса химического травления деталей
2. Механизм анодного растворения при электрохимическом полировании
3. Ионное травление
4. Запрет Аббе и способ его преодоления
5. Критическая плотность потока и структура пленок при вакуумном напылении

## Билет № 3

1. Полирующее травление деталей
2. Требования, предъявляемые к электролитам для электрохимического полирования
3. Плазмо-химическое травление
4. Схема оптического сканирующего микроскопа ближнего поля
5. Принципиальная схема диффузионного насоса и принцип его работы

## Билет № 4

1. Избирательное травление деталей
2. Характеристика электрохимического процесса. Зависимость тока от напряжения при электрохимическом полировании
3. Недостатки ионного травления
4. Принцип сканирующей туннельной микроскопии
5. Принципиальная схема турбомолекулярного насоса и принцип его работы

## Билет № 5

1. Анизотропное травление деталей
2. Требования к размерам, форме и материалу катода при электрохимическом полировании
3. Недостатки плазмо-химического травления
4. Схема туннельного микроскопа
5. Достоинства и недостатки турбомолекулярных насосов

## Билет № 6

1. Селективное травление деталей
2. Примеры применения электрохимического полирования
3. Ионно-химическое травление
4. Схема метода постоянного тока, применяемого в сканирующем туннельном микроскопе
5. Селективное травление полупроводников

## Билет № 7

1. Классификация травителей при химическом травлении поверхности
2. Характерные дефекты поверхностей, отполированных электрохимическим способом

3. Схема установки ионно-химического травления
4. Схема метода постоянной высоты, применяемого в сканирующем туннельном микроскопе

5. Химическое полирование металлов

Билет № 8

1. Химическое полирование полупроводников
2. Условное деление областей вакуума
3. Стадии процесса вакуумного напыления
4. Схема атомно-силового микроскопа
5. Химическое полирование алюминия и меди

Билет № 9

1. Структура нарушенного слоя полупроводниковых пластин после резки

2. Принципиальная схема вакуумной установки
3. Схема установки вакуумного термического испарения
4. Атомно-силовая микроскопия. Метод постоянной высоты.
5. Химическое полирование стали

Билет № 10

1. Химико-динамическая полировка пластин кремния
2. Классификация вакуумных насосов
3. Стадии процесса роста пленок при вакуумном напылении
4. Атомно-силовая микроскопия. Метод постоянной силы.
5. Зависимость скорости травления от концентрации травителя

Модуль 3 " Методы модификации материала поверхности и технические эффекты, лежащие в основе технологий обработки поверхностей "

Билет № 1

1. Области применения литографии
2. Гальванопластика, назначение метода и схема установки
3. Термическая диффузия примеси в полупроводник
4. Получение германия
5. Назначение и функции пассивных пленок двуокиси кремния в полупроводниковых микросхемах

Билет № 2

1. Что такое фоторезист, фотошаблон и экспонирование
2. Основные этапы технологии гальванопластики
3. Схема установки для проведения термической диффузии примеси в полупроводник
4. Очистка полупроводников методом зонной плавки
5. Требования, предъявляемые к оксидным пленкам кремния

## Билет № 3

1. Из каких двух основных стадий состоит процесс фотолитографии
2. Классификация форм для гальванопластики
3. Первый закон Фика
4. Схема устройства для зонной плавки германия
5. Механизм окисления по Дилу и Гроув

## Билет № 4

1. Методы литографии в зависимости от длины волны используемого излучения
2. Назначение разделительного слоя в гальванопластике и способы его нанесения
3. Второй закон Фика
4. Схема метода бестигельной зонной плавки
5. Термическое окисление кремния в сухом кислороде

## Билет № 5

1. Классификация методов литографии в зависимости от способа переноса изображения
2. Гальваностегия, назначение и схема метода
3. Метод ионной имплантации примеси в полупроводник
4. Технология очистки кремния через силаны
5. Термическое окисление кремния в парах воды

## Билет № 6

1. Схема контактной фотолитографии, ее недостатки
2. Никелирование изделий, назначение метода и требования к анодам
3. Схема установки для ионной имплантации
4. Выращивание монокристаллов методом Чохральского
5. Схема установки окисления кремния в парах воды под давлением

## Билет № 7

1. Схема бесконтактной фотолитографии
2. Гальванопластика, назначение метода и схема установки
3. Термическая диффузия примеси в полупроводник
4. Варианты резки монокристаллических слитков полупроводников на пластины. Достоинства и недостатки каждого варианта.
5. Термическое окисление кремния во влажном кислороде

## Билет № 8

1. Схема проекционной фотолитографии
2. Основные этапы технологии гальванопластики
3. Схема установки для проведения термической диффузии примеси в полупроводник
4. Эпитаксия, гомоэпитаксия, гетероэпитаксия.
5. Схема установки для термического окисления кремния

## Билет № 9

1. Схема метода генерации изображений (метод фотонабора)
2. Классификация форм для гальванопластики
3. Первый закон Фика
4. Схема осаждения атомов и образования ориентированных зародышей на монокристалле
5. Пиролиз кремнийорганических соединений

## Билет № 10

1. Позитивные и негативные фоторезисты
2. Назначение разделительного слоя в гальванопластике и способы его нанесения
3. Второй закон Фика
4. Схема установки получения эпитаксиальных слоев из газовой фазы и стадии процесса
5. Получение пленок нитрида кремния

### 3.3. СПЕЦИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ ВИДЕО- И АУДИОМАТЕРИАЛОВ, СЛАЙДОВ, ЭСКИЗОВ ПЛАКАТОВ И ДРУГИХ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В данном разделе приведен типовой пример оформления слайдов к лекциям по курсу «Физико-химические основы электронных средств». На первой лекции необходимо ознакомить студентов с целью и задачами курса, а также дать краткую информацию по структуре курса. Рекомендуемая структура для оформления схемы слайда приведен на рисунке 3.3.1.



Рис. 3.3.1. Концептуальная схема слайда к лекции

В типовую структуру слайда рекомендуется включать название лекции, название кафедры, университета. Спецификация слайдов к лекциям приведена в таблице 3.3.1, а примеры на рисунках 3.3.2-3.3.4. С мультимедийными материалами к лекции можно ознакомиться на портале e-learning.bmstu.ru.

#### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЛЕКЦИЯМ

В разделе приведен типовой пример оформления дидактического материала по дисциплине «Методы микроскопии» – конспект материалов лекций, содержащих основные определения, теоретические основы физических принципов, а

также примеры. Методологически курс лекций строится на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов с реализацией проектных методов обучения. Структура материала отличается реализацией блочно-вариативной концепции и внедрением проектных методов подготовки специалистов по направлению «Приборостроение».



МГТУ им. Н.Э.  
Баумана каф. ИУ4

*Доцент Жалнин  
Владимир Петрович*

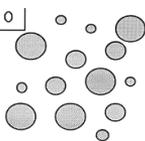
## Физико-химические основы электронных средств

### Лекция № 01

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства ЭА»

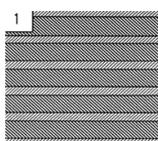
### Общие сведения о наноразмерных структурах

**0**



*нульмерные квазиодномерные (квантовые точки, сферические наночастицы)*

**1**



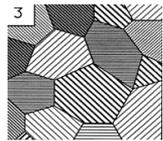
*одномерные квазиодномерные (квантовые проводники, нанотрубки)*

**2**



*двумерные квазиодномерные (тонкие пленки, поверхности раздела)*

**3**



*трехмерные квазиодномерные (многослойные структуры с наноразмерными дислокациями, сверхрешетки, нанокластеры)*

**4**



*материалы в объеме*

**5**



*материалы в объеме*

**МГТУ**  
им. Н.Э. Баумана

На сегодняшний момент можно с уверенностью сказать, что изучение наноструктур относится к направлению «нанотехнологии». Важными составляющими этого научно-технического направления является разработка и изучение наноматериалов, нанообъектов, способов их совмещения, а также исследование свойств полученных наноструктур в различных условиях.

Под наноматериалами (нанокристаллическими, нанокompозитными, нанофазными, нановолокнистыми, наноориентными и т.д. [12, 13]) принято понимать материалы, основные структурные элементы (кристаллиты, волокна, слои, поры) которых не превышают т.н. *нанотехнологической границы* - 100 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ), по крайней мере в одном направлении.

В задачу исследований входит установление многообразных связей между свойствами и структурой материалов с выявлением оптимальных наноструктур, что осуществляется в тесной связи с технологией изготовления и последующей эксплуатацией наноструктурных материалов.

### Принципиальный базис нанотехнологий

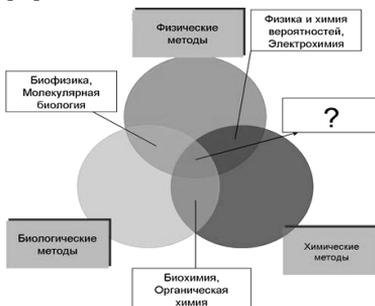
Изучение наноструктур и наноматериалов, как направление нанотехнологических и нанонаучных исследований, базируется на нескольких фундаментальных и прикладных науках, а также на исследовательских методиках.



Основой являются такие фундаментальные науки как физика, химия и биология, на стыке которых находится несколько интегративных направлений: квантовая теория (описывающая способы поведения и взаимодействия элементов наноструктур в нанометровом диапазоне), физическое материаловедение (точнее его часть, изучающая свойства наноматериалов), физика и химия вероятности (поскольку законы поведения материи приобретают не детерминированный, а вероятностный характер), химический синтез, биохимия и молекулярная биология (описывающие наноструктуры биологического происхождения и химические процессы синтеза наноструктур и протекающие в самих наноструктурах).

### Методы получения наноструктур

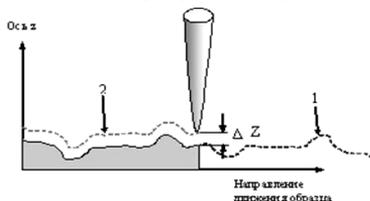
1. Электроннолитография и наноприпринт;
2. Эпитаксиальные методы;
3. Самоформирование и синтез (в матрицах и шаблонах);
4. Зондовые методы;
5. Вакуумные методы формирования тонких пленок



Происхождение методов формирования наноструктур

### Зондовая микроскопия, взаимодействие «зонд – образец»

В основе сканирующей зондовой микроскопии лежит детектирование локального взаимодействия, возникающего между твердотельным зондом и поверхностью исследуемого образца при их взаимном сближении до расстояния  $\sim \lambda$ , где  $\lambda$  – характерная длина затухания взаимодействия зонд-образец.



В зависимости от природы взаимодействия «зонд-образец» различают: сканирующий туннельный микроскоп (СТМ, детектируется туннельный ток), сканирующий силовой микроскоп (ССМ, детектируется силовое взаимодействие), сканирующий ближнепольный оптический микроскоп (СБОМ, детектируется электромагнитное излучение в видимом диапазоне длин волн) и т.п. Отметим, что сканирующая силовая микроскопия в свою очередь подразделяется на атомно-силовую микроскопию (АСМ), магнитно-силовую микроскопию (МСМ), электро-силовую микроскопию (ЭСМ) и т.п. [18]

СЗМ «NanoEducator» может функционировать в качестве туннельного и силового микроскопов, а также осуществлять зондовую литографию.



МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

### Система «зонд – образец»

Атомно-силовой микроскоп (АСМ) представляет собой систему образец + игла. На малых расстояниях между двумя атомами, один на подложке, другой на острие, при расстоянии около одного ангстрема действуют силы отталкивания, а на больших — силы притяжения. Величина этого усилия экспоненциально зависит от расстояния образец-игла. Отклонения зонда при действии близко расположенных атомов регистрируются при помощи измерителя наноперемещений, в частности используют оптические, ёмкостные или туннельные сенсоры. Добавив к этой системе устройство развёртки по осям X и Y, получают сканирующий АСМ.

#### Основные технические сложности при создании микроскопа:

- Создание иглы, заострённой действительно до атомных размеров.
- Обеспечение механической (в том числе тепловой и вибрационной) стабильности на уровне лучше 0,1 ангстрема.
- Создание детектора, способного надёжно фиксировать столь малые перемещения.
- Создание системы развёртки с шагом в доли ангстрема.
- Обеспечение плавного сближения иглы с поверхностью.



МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Контактный, полуконтактный, бесконтактный методы сканирования – различия

**Различают контактный, бесконтактный и прерывисто-контактный («полуконтактный») способы проведения силовой микроскопии.**

Использование контактного способа предполагает, что зонд упирается в образец. Возникающий при этом под действием контактных сил изгиб кантилевера регистрируется в большинстве случаев оптическим способом.

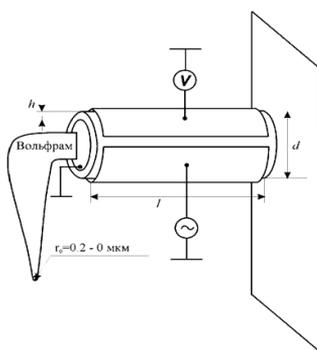
При использовании бесконтактного способа зонд удален от поверхности и находится в области действия дальнедействующих притягивающих сил (влияние магнитных и электрических сил здесь не рассматривается). Силы притяжения и их градиенты слабее отталкивающих контактных сил. Поэтому для их детектирования обычно используется модуляционная методика. Для этого с помощью пьезовибратора кантилевер раскачивается на резонансной частоте. Вдали от поверхности амплитуда колебаний кантилевера имеет максимальную величину. По мере приближения к поверхности вследствие действия градиента силы притяжения резонансная частота колебаний кантилевера изменяется, при этом уменьшается амплитуда его колебаний и изменяется их фаза.

При «полуконтактном» способе измерений также применяется модуляционная методика измерения силового взаимодействия. В «полуконтактном» режиме колебаний зонд частично касается поверхности, находясь попеременно как в области притяжения, так и в области отталкивания.



**МГТУ**  
им. Н.Э. Баумана

## Конструкция универсального датчика туннельного тока и силового взаимодействия



Датчик выполнен в виде пьезокерамической трубки длиной  $l = 7$  мм, диаметром  $d = 1,2$  мм и толщиной стенки  $h = 0,25$  мм, жестко закрепленной с одного конца. На внутреннюю поверхность трубки нанесен проводящий электрод. На внешнюю поверхность трубки нанесены два электрически изолированных полудиагональных электрода. К свободному концу трубки прикреплен вольфрамовая проволока диаметром  $100$  мкм.

Свободный конец проволоки, используемой в качестве зонда, заточен электрохимически, радиус закругления имеет величину  $0,2 - 0,05$  мкм. Зонд имеет электрический контакт с внутренним электродом трубки, соединенным с заземленным корпусом прибора.

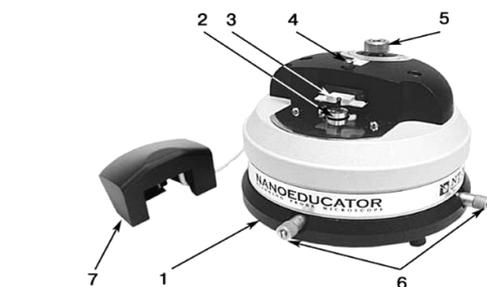
Амплитуды колебаний зонда отражает изменение рельефа поверхности образца



**МГТУ**  
им. Н.Э. Баумана

## Конструкция СЗМ NanoEducator

Сканирующий зондовый микроскоп NanoEducator был специально разработанного для учебно-научных целей при поддержке Фонда Нобелевского лауреата академика Ж.И. Алферова (Фонд Поддержки Образования и Науки). Позволяет реализовать различные методы измерений тушельной и «опукоптактной» атомно-силовой микроскопией и может использоваться не только в учебных, но и в научных целях при исследованиях в области физики и технологии микро- и наноструктур, материаловедения, катализа, физики и химии полимеров, трибологии, цитологии.



### Устройство прибора:

1. держатель образца
2. основание
3. датчик взаимодействия
4. винт фиксации датчика
5. винт ручного подвода
6. винты перемещения сканера с образцом
7. защитная крышка с видеокамерой

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Установка образца

На держатель образца поместите образец. Выберите нужный зондовый датчик (держите датчик за металлические кромки основания), ослабьте винт фиксации зондового датчика на крышке измерительной головки, вставьте датчик в гнездо держателя до упора, закрутите винт фиксации 1 по часовой стрелке.



После установки образца в микроскоп посредством винта ручного подвода и винтов перемещения сканера с образцом выбирается область сканирования (эта область должна находиться непосредственно под кантилевьером). Делать это можно «на глаз» и с помощью USB камеры находящейся на защитной крышке. Во втором случае получается увеличенное изображение области сканирования на экране монитора, для получения изображения на мониторе с камеры запускаем программу AMCAP, изображение с камеры получается или автоматически при запуске или же при создании нового изображения (файл → новое изображение).

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

### Предварительный подвод зонда

После запуска программы NanoEducator. Производится операция предварительного подвода зонда с образцом, которая выполняется в ручную при помощи USB камеры.

- F** — сканирующий скановый микроскоп (SSM)
- T** — сканирующий туннельный микроскоп (STM)

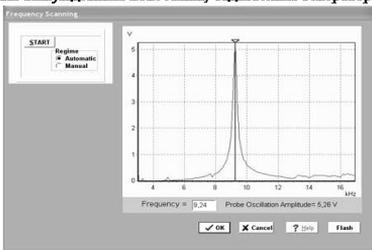


#### Кнопки панели управления

- ADJUST** - подготовка к измерениям;
- LANDING** - сближение зонда и образца;
- SCAN** - сканирование становится доступным на последующих этапах процесса измерений.
- OPTION** - просмотр параметров, установленных для данной конфигурации измерительной головки и блока электроники, а также параметров сканируемых измерений;
- CAMERA** - включение видеокамеры, показывающей взаимное положение образца и зонда;
- TEST** - выполнение автоматического тестирования состояния электронного блока;

### Поиск резонанса, установка рабочей частоты

Эта операция обязательно выполняется в начале каждого измерения и пока она не произведена, переход к дальнейшим этапам измерений заблокирован. Окно поиска резонанса вызывается командой ADJUST → RESONANCE. Выполнение этой операции предусматривает измерение амплитуды колебаний зонда при изменении частоты вынужденных колебаний, задаваемых генератором. Для этого необходимо нажать кнопку START.

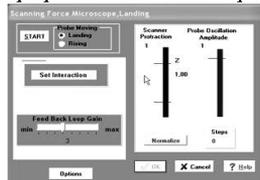
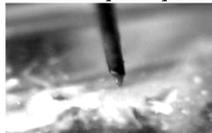


В режиме Automatic автоматически устанавливается частота генератора, равная частоте, при которой наблюдалась максимальная амплитуда колебаний зонда. График, демонстрирующий изменение амплитуды колебаний зонда в заданном диапазоне частот, позволяет наблюдать форму резонансного пика. Если резонансный пик недостаточно ярко выражен, или амплитуда при частоте резонанса мала (меньше 1V), то необходимо изменить параметры проведения измерений и повторно провести определение резонансной частоты.

## Подвод зонда

Для подвода зонда (вывода острия зонда в рабочую область и захвата сигнала взаимодействия системой обратной связи) выполняется процедура контролируемого сближения зонда и образца. Окно управления этой процедурой вызывается кнопкой панели управления прибором. Окно «Scanning Force Microscopy, Landing» содержит элементы управления подводом зонда, а также индикация параметров, которые позволяют анализировать ход выполнения процедуры.

Индикаторы измеряемых параметров расположены на панели в правой части окна LANDING.



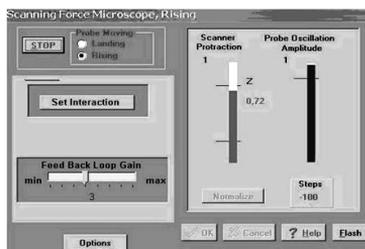
Элементы управления окна LANDING:

- задание направления движения зонда шаговым двигателем (Probe Moving): **Landing** - сближение, **Rising** - удаление;
- установка величины силового взаимодействия между зондом и образцом в рабочем режиме (**Set Interaction**);
- установка полосы пропускания петли обратной связи за счет изменения коэффициента усиления в петле обратной связи (**Feed Back Loop Gain**);
- вызов окна параметров процедуры подвода **Landing Options**.

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Отвод зонда

Операция предназначена для увеличения расстояния между острием зонда и образцом или для автоматического перевода зонда в крайнее верхнее положение для его замены. При достижении крайнего верхнего положения выдвдается сообщение "Error!! Probe crosses allow boundary. Turn screw counter-clockwise by hand!!".



Для выполнения операции отвода необходимо:

- выбрать направление движения Probe Moving: **Rising**;
- нажать кнопку **START**.

Индикатор Steps начнет отсчитывать шаги в обратном направлении. Для остановки движения необходимо нажать кнопку **STOP**. Скорость отвода определяется параметром **Rising Steps Number**, доступным в окне **Landing Options**.

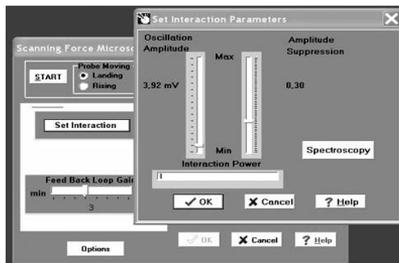
МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

### Установка величины взаимодействия острия и образца

Для установки этой величины необходимо нажать кнопку Set Interaction в окне Landing. После этого появляется окно Interaction

Сила взаимодействия определяется двумя факторами:

- величиной амплитуды переменного напряжения, подаваемого на пьезовибратор
- степенью подавления амплитуды колебаний зонда как результата взаимодействия.



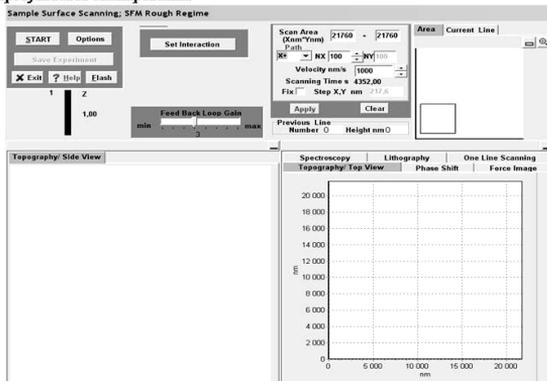
Левый вертикальный элемент окна Interaction показывает величину амплитуды переменного напряжения генератора, которое подается на пьезовибратор. Это значение было установлено с помощью параметра Oscillation Amplitude в режиме Manual окна Frequency Scanning, либо задано по умолчанию. Менять его не рекомендуется. Правый вертикальный элемент окна (Amplitude Suppression) определяет величину подавления амплитуды колебаний зонда вследствие взаимодействия. При сильном взаимодействии величина подавления больше, при слабом – меньше.

Результирующая величина взаимодействия индицируется на горизонтальном элементе окна Interaction.



### Сканирование

После выполнения процедуры подвода (Landing) захвата взаимодействия становится доступным сканирование (кнопка в окне панели управления прибором). Открывается окно управления процессом и отображения результатов сканирования



## Установка параметров области сканирования

В режиме сканирования необходимо установить параметры области и скорости сканирования. Эти параметры сгруппированы в правой части верхней панели окна Scanning В первый раз после запуска программы они устанавливаются по умолчанию:



- Площадь сканирования Scan Area Xmm\*Ymm : 5000\*5000 нм,
- Количество точек измерений по осям X, Y : NX=100, NY=100,
- Скорость сканирования Velocity = 1000 нм/s.
- Путь сканирования Path определяет способ обхода точек измерений. Программа позволяет выбирать направление оси быстрого сканирования (X или Y). При запуске программы устанавливается Path=X+.
- Шаг сканирования StepX,Y вычисляется как отношение длины линии сканирования к количеству точек измерения в этой линии.
- Область Area является отображением максимально доступной для данного прибора области сканирования

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

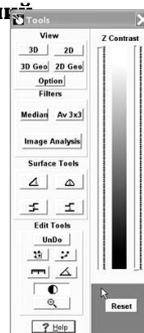
## Преобразование и анализ изображений

### Функции обработки изображений

При работе с изображениями пользователь может оперировать следующими функциями:

- Выделение фрагмента. -
- Построение сечения. -
- Удаление постоянного фона (Level Delete, кнопка )
- Удаление перепадов яркости (Steps Delete, кнопка )
- Вычитание плоскости (Plane Delete, кнопка )
- Вычитание поверхности второго порядка (Surface delete, кнопка )
- Изменение контраста (Contrast, кнопка ).
- Реализованы два способа изменения контраста изображения:

- Нажать кнопку , при этом правее панели Инструментов появится шкала яркостей точек изображения (диапазон яркостей изображения изменится при передвижении ползунков на шкале).
- Если при нажатой кнопке выбрать функцию выделения фрагмента ( ), то диапазон яркостей на изображении будет изменен и равен диапазону яркостей точек выделенного фрагмента.

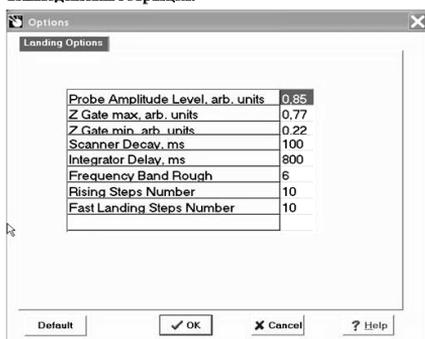


МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Метод полуконтактной сканирующей силовой микроскопии (CCM)

### Описание параметров процедуры подвода CCM

**1. Probe Amplitude Level** – уровень на индикаторе Probe Oscillation Amplitude, при переходе через который производится анализ достижения рабочего положения сканера в процессе подвода. Уровень измеряется в относительных единицах. За единицу принята амплитуда колебаний зонды в отсутствие силового взаимодействия с образцом.



**2. Z Gate Min, Z Gate Max** – Границы рабочей области удлинения сканера в относительных единицах. За единицу принята величина максимального удлинения сканера.

**3. Scanner Decay** – задержка, определяемая временем затухания переходных процессов в пьезокерамике. **4. Integrator Delay** – время, необходимое для удлинения сканера на полный диапазон при выключении системы слежения.

**5. Frequency Band Rough** – фиксированный для данного прибора параметр. Установлен изготовителями.

**6. Rising Steps Number** – количество шагов механизма подвода при выполнении цикла обратного хода сканера.

**7. Fast Landing Steps Number** – количество шагов механизма подвода при выполнении операции предварительного подвода зонды.

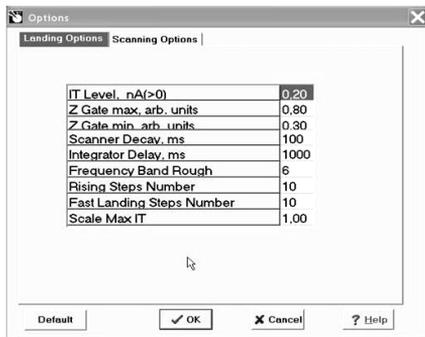
МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Метод полуконтактной сканирующей туннельной микроскопии (CTM)

### Описание параметров процедуры подвода CCM

**1. IT Level** – уровень туннельного тока, при котором включается алгоритм входа сканера в рабочую область.

**2. Z Gate Min, Z Gate Max** – границы рабочей области удлинения сканера в относительных единицах. За единицу принята величина максимального удлинения сканера.



**3. Scanner Decay** – задержка, определяемая временем затухания переходных процессов в пьезокерамике.

**4. Integrator Delay** – время, необходимое для выгибания сканера на полный диапазон при выключении следящей системы.

**5. Frequency Band Rough** – фиксированный для данного прибора параметр. Установлен изготовителями.

**6. Rising Steps Number** – количество шагов механизма подвода при выполнении операции обратного хода сканера.

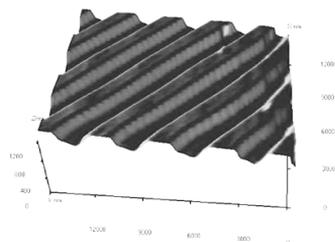
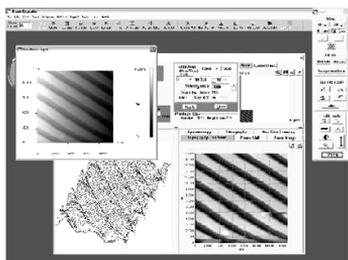
**7. Fast Landing Steps Number** – количество шагов механизма подвода при выполнении операции подвода зондового датчика к образцу.

**8. Scale Max IT** – фиксированный для данного прибора параметр. Установлен изготовителями.

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Калибровка сканера

Калибровка сканера осуществляется с использованием образцов с периодическими структурами, например, калибровочная решетка TGZ3.



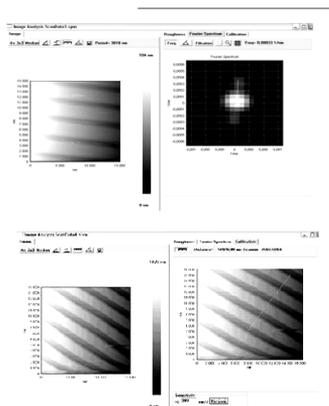
Калибровка сканера одна из самых важнейших функций, перед началом какого либо исследования обязательно надо проводить калибровку сканера, что бы измерения которые будут проделаны в исследовании были точными. Калибровкой сканера мы настраиваем сканер, и измерения изучаемых нами поверхностей получаются точными.

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Калибровка сканера

Этапы калибровки сканера:

1. Сканирование калибровочной решетки TGZ3
2. При нажатии кнопки панели инструментов **Image Analysis** вызываем окно анализа изображения, выбираем вкладку **Fourier Spectrum**. После наблюдаем в отрывшемся окне анализа изображения, рядом стоящие точки, и измеряем расстояние между ними.
3. Выбираем вкладку **Calibration** в том же окне, измеряем в этом окне период решетки, желательно для точности получившегося результата измерить не один а несколько периодов и потом разделить на их количество.
4. Период TGZ3 равен 3000nm, поэтому значение периода решетки мы делим на полученное значение **Distance**
5. Значение получившееся в (4) пункте умножаем на коэффициенты X, Y.
6. Изменяем значение X, Y.
7. Сканер откалиброван, для проверки точности калибровки воспользуетесь снова окном **Fourier Spectrum**, измерив период, т.е. расстояние между точками.



МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Представления о структуре лазерного диска



Компакт-диски изготавливаются из поликарбоната толщиной 1,2 мм, покрытого тончайшим слоем алюминия (ранее использовалось золото) с защитным слоем из лака, на котором обычно наносится графическое представление содержания диска. Отражающий алюминиевый слой, на котором и хранятся данные, снизу защищен 1,2-миллиметровым слоем поликарбоната, а сверху — лишь тонким слоем лака. Кроме того, на отражающей стороне имеется кольцевой выступ высотой 0,5 мм, позволяющий диску, положенному на ровную поверхность, не касаться этой поверхности.

Компакт-диски имеют в диаметре 12 см объёмом 700 мегабайт, которые позволяют записать 80 минут аудио

DVD (цифровой многоцелевой диск) — носитель информации в виде диска, внешне схожий с компакт-диском, однако имеющий возможность хранить больший объём информации за счёт использования лазера с меньшей длиной волны, чем для обычных компакт-дисков.

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Представления о структуре лазерного диска

Информация на диске записывается в виде спиральной дорожки так называемых пиков (углублений), выдвинутых на алюминиевом слое (в отличие от технологии записи CD-ROM'ов где информация записывается цилиндрически). Каждый пик имеет примерно 125 нм в глубину и 500 нм в ширину. Длина пика варьируется от 850 нм до 3,5 мкм. Расстояние между соседними дорожками спирали — 1,5 мкм. Данные с диска читаются при помощи лазерного луча с длиной волны 780 нм, который просветляет поликарбонатный слой, отражается от алюминиевого и считывается фотодиодом. Луч лазера образует на отражающем слое пикто диаметром примерно 1,5 мкм. Так как диск читается с нижней стороны, каждый пик выглядит для лазера как возвышение. Места, где также возвышения отсутствуют, называются площадками.

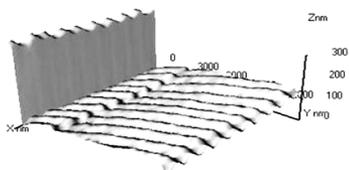
Чтобы вам было легче представить отношение размеров диска и пика: если компакт-диск был бы величиной со стадион, пик был бы размером примерно с песчинку.



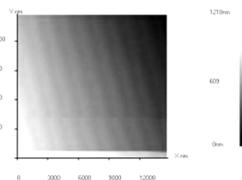
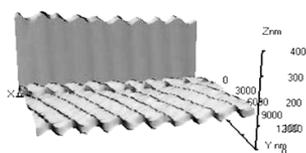
МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Сканы лазерного диска

Сканы лазерного CD - диска размером 15x15мм



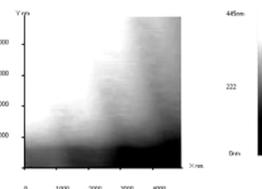
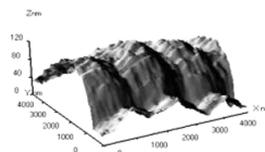
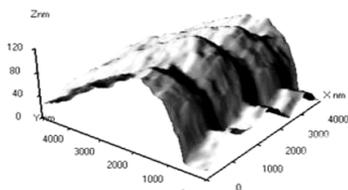
Периодическая структура, с периодом 1мкм.  
Представленные периодические структуры являются дорожки (питы - углубления в алюминиевом слое), на которые записана информация.



МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

## Сканы лазерного диска

Сканы лазерного CD - диска размером 5x5мм



МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

Таблица 3.3.1. Спецификация слайдов – конспектов лекций

Название раздела	Число слайдов
<b>1. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ).</b> 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)	10
<b>2. Контактная сканирующая атомно-силовая микроскопия (КАСМ).</b> 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)	12
<b>3. Прерывисто-контактная сканирующая силовая микроскопия.</b> Прерывисто-контактный метод, прерывисто-контактный метод рассогласования (Semiconduct Error mode), метод отображения фазы (Phase Imaging mode)	8
<b>4. Бесконтактная атомно-силовая микроскопия (Noncontact AFM).</b> Бесконтактный метод АСМ (Noncontact mode). Измерение рельефа поверхности с использованием колеблющегося с резонансной частотой зонда	6
<b>5. Многопроходные методики (Many-pass techniques).</b> 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)	10
<b>6. Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ).</b> Формирование изображений при сканировании исследуемого образца диафрагмой с суб-волновым отверстием и регистрация его в виде распределения интенсивности оптического излучения в зависимости от положения диафрагмы	8
<b>7. Оптическая микроскопия.</b> Световая микроскопия, методы световой микроскопии, конфокальная микроскопия. Спектроскопия, раман-спектроскопия, оптическая профилометрия, эллипсометрия	12
<b>8. Электронная микроскопия.</b> 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	16

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Руководствуясь единой концепцией, созданы методические материалы по дисциплине «Физико-химические основы приборостроения». Методические материалы содержат нормативную базу дисциплины, рекомендации по организации и проведению лекций и лабораторных работ, перечень слайдов, типовых плакатов и другие дидактические материалы для работы профессорско-преподавательского состава по данной дисциплине.

Цель дисциплины – изучение физико-химических основ приборостроения. Материал курса является основой для изучения других технологических процессов, применяемых при создании размерных структур, выполнения исследовательской части курсового проекта, курсовых работ по технологии производства ЭС и подготовки квалификационной работы бакалавра.

Задачи дисциплины – получение теоретических и практических навыков в области технологии приборостроения, проведения исследований, измерений и сертификации структур, объектов и систем.

Методологически дисциплина должна строиться на основе наилучшего соотношения теоретических и прикладных вопросов с обязательным участием студентов в самостоятельном исследовании особенностей проведения технологических процессов и процессов измерения и исследования структур.

Теоретические основы должны излагаться в такой мере, чтобы показать общие принципы основных технологических методов, их особенности, достоинства и недостатки. 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.

Прикладные вопросы должны ориентировать студентов на решение задач расчета технологических режимов, измерения и сертификации при производстве структур, выбор адекватных 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 технологических задач с использованием ЭВМ, САПР.

В основу методических материалов по дисциплине «Физико-химические основы приборостроения» положены курсы, читаемые авторами в МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Данный УМК разработана кафедрой ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» в соответствии с самостоятельно устанавливаемым образовательным стандартом (СУОС), основной профессиональной образовательной программой и учебным планом МГТУ им.Н.Э.Баумана по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение».



Программа по курсу  
**«Физико-химические основы электронных средств»**  
 Кафедра ИУ-4 «Проектирование и технология производства  
 электронной аппаратуры»

Виды занятий	Объем занятий, зач. ед.				
	Всего	3-й семестр 17 недель			
Лекции	1	1			
Семинары	0,5	0,5			
Лабораторные работы	0,5	0,5			
Самостоятельная работа	0,5	0,5			
Итого:	2,5	2,5			
Проверка знаний:		Зачет			

Виды самостоятельной работы и контрольных мероприятий	Объем, зач. ед./выполнение, неделя выдачи-сдачи				
	Всего, зач. ед.	3-й семестр 17 недель			
Рубежный контроль № 1 № 2 № 3	–	–			

Программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования. Содержит государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки **бакалавра** по направлению подготовки 12.03.01 с профилем подготовки «Приборостроение».

**Общие положения.** Методическое обеспечение практикума по курсу «Методы микроскопии» является частью УМК, разработано в соответствии с требованиями федеральных законов от 10.07.1992 № 3266-1-ФЗ «Об образовании» (с изменениями и дополнениями) и от 22.08.1996 № 125-ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» (с изменениями и дополнениями), Типового положения об образовательном учреждении высшего профессионального образования (высшем учебном заведении), утвержденного постановлением Правительства РФ от 14 февраля 2008 г. № 71, и одобрено научно-координационным советом по Приборостроению МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Отчет по лабораторной работе № 2 «Подготовка и проведение СЗМ-эксперимента»			
Дата	Оценка (max 5)	Бонус за сложность	Подпись

### Цели работы:

1. Изучение основ сканирующей зондовой микроскопии.
2. Изучение конструкции и принципов работы прибора NanoEducator.
3. Получение первого СЗМ-изображения.
4. Получение навыков обработки и представления экспериментальных результатов.

### Решаемые задачи:

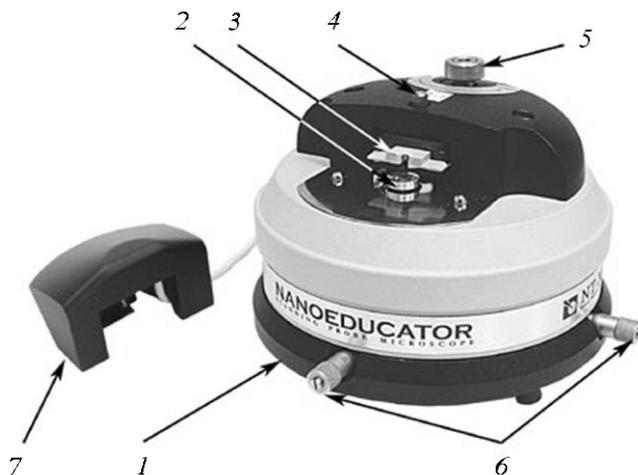
1. Изучение на практике общей конструкции прибора NanoEducator (или иного СЗМ-прибора по заданию преподавателя) с использованием руководства пользователя и ресурсов сети Интернет (<http://nt-mdt.ru>, <http://nanotech.iu4.bmstu.ru>).
2. Изучение базовых принципов работы с программой управления прибором NanoEducator в режиме получения изображения.
3. Получение СЗМ-изображения. Получение изображения выполняется на одном приборе под руководством преподавателя. Рекомендуется использовать в качестве образца тестовую решетку TGX1, поставляемую в комплекте с комплектом NanoEducator. TGX1 представляет собой массив квадратных колонн на кремниевой подложке. Период решетки  $3 \pm 0,5$  мкм, высота 0,6 мкм, радиус закругления менее 10 нм, зона эффективного сканирования  $3 \times 3$  мм.
4. Проведение обработки полученного изображения. Обработка экспериментальных данных каждым студентом проводится индивидуально.
5. Анализ результатов работы, формулировка кратких выводов по работе, оформление отчета и представление его к защите.

**Методические указания.**Прежде чем приступить к работе на сканирующем зондовом микроскопе NanoEducator, следует изучить руководство пользователя прибора.

**Техника безопасности.**Прибор управляется напряжением 220 В. Эксплуатацию сканирующего зондового микроскопа NanoEducator производить в соответствии с ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей для электроустановок напряжением до 220 В.

**Краткий конспект теоретической части**  
 (изучение теоретической части проводится по литературе)

Из каких основных конструкционных компонентов состоит измерительная головка СЗМ NanoEducator ?




---



---



---



---



---

Какие предварительные действия необходимо выполнить для проведения исследования с помощью СЗМ NanoEducator?

---



---



---



---



---

Какие основные действия необходимо выполнить для проведения исследования с помощью СЗМ NanoEducator?

---



---



---



---



---

**Подготовка к проведению лабораторной работы (выполняется преподавателем или инженером).**

1. Выбор образца для исследования: тестовый образец TGZ3 (маркировка фирмы НТ-МДТ) или любой другой по выбору преподавателя.
2. Подбор зонда с наиболее характерной амплитудно-частотной характеристикой (одиночный симметричный максимум).
3. Получение эталонного изображения поверхности исследуемого образца для последующей проверки.

**Проведение лабораторной работы.**

1. Изучение теоретической части и подготовка краткого конспекта.
2. Изучение на практике общей конструкции прибора NanoEducator.
3. Ознакомление с программой управления прибором NanoEducator.
4. Получение первого СЗМ-изображения под руководством преподавателя.
5. Обработка полученного СЗМ-изображения.
6. Анализ результатов работы, оформление и защита отчета.

Графическое представление полученного СЗМ-изображения	
2D	3D

Анализ экспериментальных данных:

Выводы:

**Содержание отчета**

Отчет оформляется в виде журнала лабораторных работ и должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Схематическое изображение или фотографию сканирующего зондового микроскопа NanoEducator с указанием его основных частей.
3. Фотографии или эскизы исследуемых образцов.
4. Фотографию или эскиз полученного на экране изображения образцов.
5. Обработку результатов исследования
6. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные компоненты СЗМ и их назначение.
2. Назовите виды сенсоров и принципы их действия.
3. Объясните понятие пьезоэлектрического эффекта и принцип действия пьезоэлектрического двигателя. Опишите различные конструкции сканеров.
4. Опишите общую конструкцию прибора NanoEducator.
5. Объясните конструкцию зондового датчика туннельного тока/силового взаимодействия прибора NanoEducator и принцип его действия.
6. Опишите механизм подвода зонда к образцу в приборе NanoEducator. Поясните параметры, определяющие силу взаимодействия зонда с образцом.
7. Объясните принцип сканирования и работы системы обратной связи. Расскажите о критериях выбора параметров сканирования.