

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 03 » 09 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Зондовая микроскопия»**

**Направление подготовки** 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

**Профиль подготовки/программа подготовки:** «Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии»

**Уровень высшего образования:** магистратура

**Форма обучения:** очная

Семестр	Трудоемкость (зач. ед/час.)	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лаб. работы (час)	СРС (час)	Форма контроля (экз./зачет)
3	4/144	18	18	18	45	Экзамен 45
<b>ИТОГО</b>	<b>4/144</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>45</b>	<b>Экзамен 45</b>

Владимир 2018 г.

## **1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Цель курса – ознакомить студентов с принципами работы сканирующей зондовой микроскопии, закрепить навыки самостоятельной работы на приборах Smena B и Ntegra Aura, используя различные методики контактного и прерывисто-контактного режимов.

### **Задачи дисциплины:**

- изучение принципов работы и основных измерительных методик СЗМ ;
- изучение методов обработки полученных изображений и освоение программы обработки данных Image Analisys;
- приобретение навыков работы на приборах Smena B и Ntegra Aura в качестве операторов и освоение компьютерной программы управления приборами Nova.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО**

Дисциплина «Зондовая микроскопия» относится к дисциплинам по выбору вариативной части ОПОП. Программа предназначена для подготовки магистров по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника». Курс "Зондовая микроскопия" читается в 3 семестре, он базируется на знаниях студентов, приобретенных в курсах общей физики и направлен на ознакомление с методами сканирующей зондовой микроскопии, приобретению навыков работы с приборами и общее расширение компетенции студентов в области неразрушающих методов диагностики материалов.

Изучение дисциплины предполагает наличие у студентов профессиональных навыков в области физики твердого тела, теории колебаний, размерных эффектов в нанометровом масштабе, технологии диагностики микро- и наноматериалов и обработки полученных изображений, которые были получены в рамках обучения в бакалавриате и на первом курсе магистратуры в рамках дисциплин «История и методология науки и техники в области нанотехнологий», «Специальные главы физики твёрдого тела» и др.

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены для написания выпускной квалификационной работы.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:

1) готовность формулировать цели и задачи научных исследований в области нанотехнологии и микросистемной техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-1);

2) готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты (ПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) **Знать:** основные законы естественнонаучных дисциплин, лежащие в основе взаимодействия зонда с поверхностными атомами образца; теоретические и экспериментальные методы; особенности основных методик исследования поверхности в АСМ режимах.

2) **Уметь:** формулировать цели и задачи научных исследований; интерпретировать полученные АСМ-данные; разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии; проводить калибровку и сопоставлять качественным картинам количественные данные.

3) **Владеть:** методикой проведения исследований и измерений параметров изделий нанотехнологии; элементарными навыками работы на приборах семейства АСМ.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС			КП / КР
1.	Физические принципы работы СЗМ.	3	1-6	8		4	2		10		7/50	Рейтинг-контроль №1
2.	Измерительный методики атомно-силовой микроскопии (АСМ)	3	6-7	3		6	12		11		10/47	Рейтинг-контроль №2
3.	Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)	3	8-10	4		4	2		12		5/50	Рейтинг-контроль №3
4.	Сканирующая ближнеполюсная микроскопия (СБОМ)		11-18	3		4	2		12		5/55	
Всего:		3	18	18		18	18		45		27/50	Экзамен (45)

#### ТЕМЫ, РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ:

##### ЛЕКЦИИ

##### Раздел 1. Физические принципы работы СЗМ

- 1.1. Введение в СЗМ. Принципы работы СЗМ
- 1.2. Основные рабочие элементы СЗМ
- 1.3. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению
- 1.4. Формирование и обработка СМЗ изображений
- 1.5. Разрешающая способность АСМ

##### Раздел 2. Измерительный методики АСМ

- 2.1. Однопроходные методики атомно-силовой микроскопии
- 2.2. Многопроходные методики атомно-силовой микроскопии

### **Раздел 3. Сканирующая туннельная микроскопия**

- 3.1. Техника СТМ
- 3.2. Методики СТМ
- 3.3. Туннельная спектроскопия

### **Раздел 4. Сканирующая туннельная микроскопия**

- 4.1. Принцип работы. Конфигурации. Зонды СБОМ
- 4.2. Недостатки методов. Артефакты сканирования и способы выявления и борьбы с ними

### **ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ**

1. Основные узлы и принцип работы атомно-силового микроскопа
2. Контактный режим сканирования атомно-силового микроскопа
3. Латеральные силы и метод сопротивления растекания
4. Прерывисто контактный режим сканирования атомно-силового микроскопа
5. АСМ спектроскопия
6. Методы СТМ
7. Микроскопия ближнего поля
8. Метод зонда Кельвина или магнитно-силовая микроскопия
9. АСМ-литография

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

1. Электросиловая микроскопия;
2. Туннельный ток;
3. Пьезоэлектрический эффект. Прямой и обратный. Материалы.
4. Методы изготовления зондовых датчиков;
5. Ёмкостная микроскопия;
6. Дифракция света и СБОМ;
7. Добротность кантилевера;
8. Вторая система обратной связи- ёмкостные датчики в АСМ;
9. Зондовая нанолитография.
10. Моделирование и математическая оценка при СЗМ сканировании.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **Активные и интерактивные формы обучения**

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций) в сочетании с внеаудиторной работой.

### **Мультимедийные технологии обучения**

Некоторые из лекционных и практических занятий проводятся в виде презентаций в мультимедийной аудитории (например, ауд. 420-3) с использованием компьютерного проектора.

### **Лекции приглашенных специалистов**

Проводятся лекции приглашенных специалистов в виде участия в он-лайн вебинарах

по новаторским направлениям АСМ.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **а) Экзаменационные вопросы**

1. Система реализации обратной связи в СЗМ;
2. Зонды АСМ, СТМ, СБОМ;
3. Выходные сигналы в СЗМ;
4. Формирование и хранение данных/изображения сканирования;
5. Классификация измерительных АСМ методик;
6. Контактный режим;
7. Режим спектроскопии и его возможности;
8. Многопроходные методики;
9. Латеральные силы взаимодействия зонда и образца;
10. Бесконтактный режим колебания кантилевера;
11. Принцип работы СТМ.
12. ВАХ контакта Ме-Ме, Ме-полупроводник, Ме-сверхпроводник;
13. Характеристика ток- расстояние в СТМ;
14. Конфигурации СБОМ;
15. Метод контроля расстояния зонд- образец в СБОМ.
16. Электросиловая микроскопия;
17. Вторая система обратной связи- ёмкостные датчики в АСМ;
18. Зондовая нанолитография.
19. Моделирование и математическая оценка при СЗМ сканировании.

### **б) Вопросы рейтинг-контроля**

#### **Вопросы рейтинг-контроля №1:**

1. Силовое взаимодействие зонд-образец;
2. Кривая отвода – подвода зонда;
3. Взаимодействие элементов АСМ;
4. Организация системы обратной связи;
5. Вклад капиллярных сил в отображение рельефа поверхности;
6. Выходные сигналы четырехсекционного фотодиода;
7. Оптическая система регистрации отклонения зонда;
8. Роль пьезосканера;
9. Отрицательные особенности пьезокерамики и методы их компенсации;
10. Устройства для прецизионных перемещений зонда/образца;
11. Влияние окружающей среды на достоверность получаемых асм-данных.

#### **Вопросы рейтинг-контроля №2:**

1. Классификация измерительных методик;
2. Метод постоянной силы и метод постоянной высоты. ОС и ограничения;
3. Микроскопия латеральных сил;
4. Разрешающая способность микроскопа в контактном режиме;
5. Реализация прерывисто-контактного режима сканирования. ОС;
6. Метод фазового контраста;
7. Многопроходные методики. Выбор и поддержание постоянного расстояния зонд-образец;
8. Исследование распределения электрического потенциала на поверхности образца;
9. Метод сопротивления растекания.
10. Емкостная микроскопия.

### **Вопросы рейтинг-контроля №3:**

1. Зонды АСМ, СТМ и СБОМ. Технические характеристики. Методы изготовления;
2. Физические основы метода СТМ;
3. ВАХ контакта Ме-Ме;
4. ВАХ контакта Ме-полупроводник;
5. ВАХ контакта Ме-сверхпроводник;
6. Характеристика ток-расстояние в СТМ;
7. Определение работы выхода;
8. Режим спектроскопии. Получение и анализ кривых  $DFL(z)$ ,  $MAG(z)$ ;
9. Конфигурации СБОМ;
10. Физические основы метода СБОМ;
11. Метод контроля расстояния зонд-образец в СБОМ.

### **в) Вопросы к самостоятельной работе студента**

1. Преимущества и недостатки вибрационных методик;
2. Потенциал Леннарда-Джонса и зависимость сил от расстояния;
3. Резонансная частота кантилевера;
4. Силы, действующие на зонд;
5. Методы математической обработки АСМ изображений;
6. Кривые подвода-отвода;
7. Схема взаимодействия основных элементов СТМ;
8. Калибровка сканера и тестирование зонда.

### **Темы рефератов:**

1. Электросиловая микроскопия;
2. Туннельный ток;
3. Пьезоэлектрический эффект. Прямой и обратный. Материалы.
4. Методы изготовления зондовых датчиков;
5. Ёмкостная микроскопия;
6. Дифракция света и СБОМ;
7. Добротность кантилевера;
8. Вторая система обратной связи- ёмкостные датчики в АСМ;
9. Зондовая нанолитография.
10. Моделирование и математическая оценка при СЗМ сканировании.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Вся литература находится в библиотеке ВлГУ.

### Основная литература:

1. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Часть 1/Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б. - Новосибир.: НГТУ, 2013. - 134 с.: ISBN 978-5-7782-2158-1. Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=546601>

2. Филимонова Н.И. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.— 134 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45104>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

3. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс]/ Неволин В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2014.— 174 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26894>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

4. Аракелян С. М. Введение в фемтонанопотонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов : учебное пособие по направлениям подготовки бакалавриата 200400 (200200) "Оптотехника", 200500 "Лазерная техника и лазерные технологии", 200700 (200600) "Фотоника и оптоинформатика" и специальностям 200200 "Оптотехника" и 200201 "Лазерная техника и лазерные технологии" / С. М. Аракелян [и др.] ; под общ. ред. С. М. Аракеяна .— Москва : Логос, 2015 .— 743 с. : ил., табл. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (211 Мб) .— Библиогр. в конце ч. — С. М. Аракелян, А. О. Кучерик, В. Г. Прокошев, В. Г. Рау, А. Г. Сергеев - преподаватели ВлГУ .— ISBN 978-5-98704-812-2. Библиотека ВлГУ

### Дополнительная литература:

1. Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики : учебное пособие / С. М. Аракелян [и др.] ; Владимирский государственный университет (ВлГУ) .— Владимир : Владимирский государственный университет (ВлГУ), 2010 .— 139 с. : ил., табл. — Имеется электронная версия .— Библиогр.: с. 138-139. — Свободный доступ .— Adobe Acrobat Reader 4.0 .— ISBN 978-5-9984-0083-4 .— <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2105/3/00698.pdf>>.

2. Барыбин, А. А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / А. А. Барыбин, В. А. Бахтина, В. И. Томилин, Н. П. Томилина. — Красноярск : СФУ, 2011. - 236 с. - ISBN 978-5-7638-2396-7. Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=441543>

3. Методическое пособие: "Микро-наноструктуры и гидродинамические неустойчивости, индуцированные лазерным излучением на поверхности твердых тел, и их диагностика методами лазерной и зондовой микроскопии" / В. Г. Прокошев [и др.] ; Владимирский государственный университет (ВлГУ), Кафедра физики и прикладной математики .— Владимир : [Владимирский государственный университет (ВлГУ)], 2008 .— 84 с. : ил., табл. — (Приоритетные национальные проекты, Образование) (Инновационная образовательная программа, Проект 2: индивидуальная траектория обучения и качество



образования. Цель: ориентированное на требования рынка образовательных услуг, улучшение качества подготовки и переподготовки специалистов) .— Библиогр.: с. 77-84. Библиотека ВлГУ

4. Нанотехнологии и микромеханика. Ч. 4: Зондовые нанотехнологии [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Ю.А. Иванов, В.М. Башков, В.Д. Шашурин, Н.В. Федоркова. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. –Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5703829380.html>

5. Осадько, Игорь Сергеевич. Флуктуирующая флуоресценция наночастиц : [научное издание] / И. С. Осадько .— Москва : Физматлит, 2011 .— 316 с. : ил. — Библиогр. в конце гл. — ISBN 978-5-9221-1339-7. Библиотека ВлГУ

#### **Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. NT-MDT Руководство пользователя Smena B и Ntegra Aura. Режим доступа: <http://www.ntmdt.ru>.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Лекционные аудитории, оснащённые доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Аудитории для проведения лабораторных и практических занятий, оснащённые современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением и научная лаборатория (419-3), где размещены АСМ SMENA B и зондовая нанолаборатория NTEGRA AURA.



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» программе подготовки: «Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии»

Рабочую программу составила доц. каф. ФиПМ С.В. Кутровская

  
(ФИО, подпись)

Рецензент (представитель работодателя)

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Кас. офиса Кинко - 2 ФКП "РМП Рязань" Сиднев С.В. 

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 03.09.18 года

Заведующий кафедрой

  
С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Протокол № 1 от 03.09.18 года

Председатель комиссии

  
С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

---

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

---

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

---