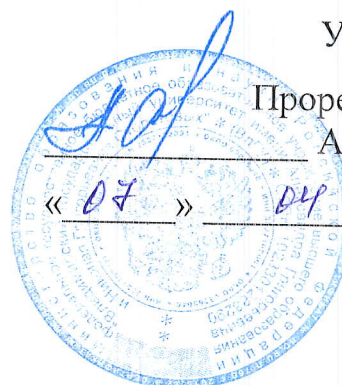


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УМР  
А.А.Панфилов



« 07 » 04 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ**  
**МАТЕРИАЛОВ**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
Профиль/программа подготовки:  
Уровень высшего образования бакалавриат  
Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость ед./ час.	зач.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
5	6 / 216		18	36	18	99	Экзамен (45), КР
Итого	6 / 216		18	36	18	99	Экзамен (45), КР

Владимир 2015

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Главная цель данного курса состоит в том, чтобы подготовить студентов к работе с различным диагностическим и метрологическим оборудованием. Задача учебного курса – ознакомление с основными классификациями наноструктурированных материалов и получение навыков работы с диагностическим оборудованием.

Разнообразие явлений наблюдаемых в наноструктурированных материалах требует от исследователя знаний, как структуры исследуемых материалов, так и методов диагностики, физических основ их реализации и области применимости. В рамках данного курса обучающиеся получают знания и навыки, позволяющие им в дальнейшем эффективно справляться с задачами изучения свойств и характеристики наноструктурированных объектов.

### Задачи дисциплины:

- изучение особенности структуры нанобъектов, классификация наноматериалов, влияние дефектов на свойства наноматериалов;
- изучение физических основ современных методов диагностики наноструктурированных материалов;
- приобретение навыков работы на современном диагностическом и метрологическом оборудовании.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Материаловедение наноструктурированных материалов» является обязательной дисциплиной вариативной части основной профессиональной образовательной программы. Изучение дисциплины проходит в 5 семестре, так как она должна помочь бакалавру определиться с возможностью проведения экспериментов в рамках квалификационной работы по получению новых элементов нано- и микросистемной техники.

Для изучения дисциплины студенты должны обладать знаниями, умениями и навыками в рамках общего раздела физики, теории наноматериалов, понимать основные принципы формирования наноструктурированных материалов, владеть методами синтеза и диагностики наноструктур.

Освоение дисциплины необходимо для изучения следующих дисциплин и практик учебного плана: «Проектирование электронных средств в наноэлектронике», «Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии», «Электроника и микропроцессорная техника», «Механика наносистем и трибология», «Научно-исследовательская работа в семестре», «Преддипломная практика», выполнение выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины обучающийся должен освоить следующие компетенции:

способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**Знать:** базовые технологические методы для производства материалов, компонентов нано- и микросистемной техники (ОПК-2).

**Уметь:** проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-2).

**Владеть:** оборудованием применяемым в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-2).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетные единицы, 216 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	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	КЛАССИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ. СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ	5	1-3	4	4	2	-	13	-	5/50	
2	ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ	5	4-5	2	2	2	-	20	-	3/50	
3	ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ	5	6-8	2	8	4	-	15	-	7/50	Рейтинг-контроль №1
4	АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ	5	9-12	4	8	4	-	15	-	8/50	
5	МЕТОДЫ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НАНОМАТЕРИАЛОВ	5	13-15	2	6	2	-	18	-	5/50	Рейтинг-контроль №2
6	ОСНОВЫ СПЕКТРОСКОПИИ	5	16-18	4	8	4	-	18	-	8/50	Рейтинг-контроль №3
<b>Всего</b>		<b>5</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>99</b>	<b>КР</b>	<b>36/50</b>	<b>Экзамен (45)</b>

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

##### Темы лекций:

**Раздел 1.** Классификация наноструктурированных материалов. Свойства наноструктурированных материалов.

1. Методы классификации наноразмерных объектов.
2. Влияние дефектов на строение материалов. Классификация дефектов.
3. Модели миграции дефектов.

4. Методы обнаружения миграции дефектов.
5. Размерные эффекты и их влияние на физические свойства материалов.

#### **Раздел 2. Оптическая микроскопия**

1. Строение оптического микроскопа.
2. Методы оптической микроскопии.
3. Предельное разрешение оптического микроскопа. Дифракционный предел.
4. Увеличение оптического микроскопа. Яркость. Контрастность.

#### **Раздел 3. Электронная микроскопия**

1. Строение растрового электронного микроскопа.
2. Методы электронной микроскопии.
3. Просвечивающая электронная микроскопия.
4. Сканирующая электронная микроскопия.
5. Разрешение электронного микроскопа.
6. Методы повышения контраста.
7. Метод регистрации вторичных электронов.
8. Метод регистрации Оже-электронов.
9. Детектирование тормозного рентгеновского излучения.

#### **Раздел 4. Атомно-силовая микроскопия**

1. Туннельная микроскопия. Понятие туннельного тока.
2. Предельное разрешение туннельного микроскопа, условия достижения.
3. Атомно-силовая микроскопия. Атом-атомное взаимодействие.
4. Свободные колебания зонда.
5. Взаимодействие в системе кантиливер-образец.
6. Контактный режим сканирования.
7. Прерывисто-контактный режим сканирования.
8. Бесконтактный режим сканирования.
9. Двухпроходные методы сканирования.
10. Измерение электрических характеристик.
11. Исследование магнитных доменов.
12. Измерение латеральных сил.
13. Виброакустические методы исследования.
14. Предельное разрешение атомно-силового микроскопа, условия достижения.
15. Артефакты сканирования, способы их удаления.

#### **Раздел 5. Методы рентгеновской диагностики наноматериалов**

1. Устройство рентгеновского дифрактометра.
2. Физические основы рентгеновской дифрактометрии.
3. Рентгеновская спектрофлуометрия.
4. Физические основы построения рентгеновских спектров химических соединений.
5. Малоугловое рассеяние рентгеновского излучения.
6. Физические основы малоуглового рассеяния.

#### **Раздел 6. Основы спектроскопии**

1. Оптическая спектроскопия
2. ИК-спектроскопия
3. Фурье-спектроскопия
4. Спектроскопия комбинационного рассеяния

**Темы лабораторных работ:**

1. Оптические исследования прозрачных наноструктурированных материалов.
2. Исследование поверхности проводящих и полупроводниковых наноструктурированных образцов с использованием сканирующего электронного микроскопа в различных режимах работы.
3. Исследование поверхности диэлектрических и проводящих наноструктурированных образцов с применением атомно-силового микроскопа в различных режимах работы.
4. Исследование прозрачных наноструктурированных сред с использованием методов оптической спектроскопии.
5. Исследование полупроводниковых и углеродных материалов с применением спектроскопии комбинационного рассеяния.

#### **Темы практических работ:**

1. Оптическая микроскопия высокого разрешения.
2. Понятие локального поля.
3. Ближнеполевая микроскопия.
4. Атомно-силовая литография.
5. Зеркальная электронная микроскопия.
6. LIBS-технологии.
7. Терагерцовая спектроскопия.
8. Поверхностное рамановское усиление.
9. Динамическое рассеяние света и методы его применения.
10. SERS и XSERS методы для изучения нанообъектов
11. Исследование объектов в дальнем поле.

### **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При проведении лекционных занятий применяется классический подход преподнесения учебного материала, предполагающий проблемную постановку задач и переход к рассмотрению методов их решения. В ходе лекционных занятий лектор стимулирует студентов к формированию собственных суждений, задавая вопросы по текущему материалу или обращаясь к необходимым для его понимания знаниям, полученным в ходе предыдущего обучения.

- применение мультимедиа технологий (проведение лекционных занятий с применением компьютерных презентаций и демонстрационных роликов с помощью проектора или ЭВМ);
- обучение в малых группах (выполнение лабораторных работ в группах из двух или трёх человек);
- мастер-классы (демонстрация на лабораторных занятиях использования современной диагностической техники на конкретных задачах исследования свойств наноструктурированных материалов).

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

#### **а) Вопросы рейтинг-контроля:**

**Рейтинг-контроль №1.**

6. Методы классификации наноразмерных объектов.
7. Влияние дефектов на строение материалов. Классификация дефектов.
8. Модели миграции дефектов.
9. Методы обнаружения миграции дефектов.
10. Строение оптического микроскопа.
11. Методы оптической микроскопии.
12. Предельное разрешение оптического микроскопа. Дифракционный предел.
13. Увеличение оптического микроскопа. Яркость. Контрастность.
14. Строение растрового электронного микроскопа.
15. Методы электронной микроскопии.
16. Просвечивающая электронная микроскопия.
17. Сканирующая электронная микроскопия.
18. Разрешение электронного микроскопа.
19. Методы повышения контраста.
20. Метод регистрации вторичных электронов.
21. Метод регистрации Оже-электронов.
22. Детектирование тормозного рентгеновского излучения.

#### **Рейтинг-контроль №2.**

16. Туннельная микроскопия. Понятие туннельного тока.
17. Предельное разрешение туннельного микроскопа, условия достижения.
18. Атомно-силовая микроскопия. Атом-атомное взаимодействие.
19. Свободные колебания зонда.
20. Взаимодействие в системе кантиливер-образец.
21. Контактный режим сканирования.
22. Прерывисто-контактный режим сканирования.
23. Бесконтактный режим сканирования.
24. Двухпроходные методы сканирования.
25. Измерение электрических характеристик.
26. Исследование магнитных доменов.
27. Измерение латеральных сил.
28. Виброакустические методы исследования.
29. Предельное разрешение атомно-силового микроскопа, условия достижения.
30. Артефакты сканирования, способы их удаления.
31. Устройство рентгеновского дифрактометра.
32. Физические основы рентгеновской дифрактометрии.
33. Рентгеновская спектрофлуометрия.
34. Физические основы построения рентгеновских спектров химических соединений.
35. Малоугловое рассеяние рентгеновского излучения.
36. Физические основы малоуглового рассеяния.

#### **Рейтинг-контроль №3.**

5. Оптическая спектроскопия
6. ИК-спектроскопия
7. Фурье-спектроскопия
8. Спектроскопия комбинационного рассеяния

#### **б) Вопросы к экзамену по дисциплине:**

1. Методы классификации наноразмерных объектов.

2. Влияние дефектов на строение материалов. Классификация дефектов.
3. Модели миграции дефектов.
4. Методы обнаружения миграции дефектов.
5. Строение оптического микроскопа.
6. Методы оптической микроскопии.
7. Предельное разрешение оптического микроскопа. Дифракционный предел.
8. Увеличение оптического микроскопа. Яркость. Контрастность.
9. Строение растрового электронного микроскопа.
10. Методы электронной микроскопии.
11. Просвечивающая электронная микроскопия.
12. Сканирующая электронная микроскопия.
13. Разрешение электронного микроскопа.
14. Методы повышения контраста.
15. Метод регистрации вторичных электронов.
16. Метод регистрации Оже-электронов.
17. Детектирование тормозного рентгеновского излучения.
18. Туннельная микроскопия. Понятие туннельного тока.
19. Предельное разрешение туннельного микроскопа, условия достижения.
20. Атомно-силовая микроскопия. Атом-атомное взаимодействие.
21. Свободные колебания зонда.
22. Взаимодействие в системе кантиливер-образец.
23. Контактный режим сканирования.
24. Прерывисто-контактный режим сканирования.
25. Бесконтактный режим сканирования.
26. Двухпроходные методы сканирования.
27. Измерение электрических характеристик.
28. Исследование магнитных доменов.
29. Измерение латеральных сил.
30. Виброакустические методы исследования.
31. Предельное разрешение атомно-силового микроскопа, условия достижения.
32. Артефакты сканирования, способы их удаления.
33. Устройство рентгеновского дифрактометра.
34. Физические основы рентгеновской дифрактометрии.
35. Рентгеновская спектрофлуориметрия.
36. Физические основы построения рентгеновских спектров химических соединений.
37. Малоугловое рассеяние рентгеновского излучения.
38. Физические основы малоуглового рассеяния.
39. Оптическая спектроскопия
40. ИК-спектроскопия
41. Фурье-спектроскопия
42. Спектроскопия комбинационного рассеяния.
43. Понятие скин-слоя. Эффекты в скин-слое.
44. Особенности взаимодействия излучения оптического диапазона с диполями.
45. Взаимодействие излучения оптического диапазона с электронами.
46. Возбуждение молекул светом.

**в) вопросы для контроля самостоятельной работы:**

12. Оптическая микроскопия высокого разрешения.
13. Понятие локального поля.
14. Ближнеполевая микроскопия.
15. Атомно-силовая литография.
16. Зеркальная электронная микроскопия.
17. LIBS-технологии.
18. Терагерцовая спектроскопия.
19. Поверхностное рамановское усиление.
20. Динамическое рассеяние света и методы его применения.
21. SERS и XRSERS методы для изучения нанообъектов
22. Исследование объектов в дальнем поле.

**г) примерные темы курсовых работ:**

1. Рассчитать структуру «груши» электронов в тонком образце золота, при падении электронного пучка диаметром 30мкм под прямым углом, после разгона в пушке с разностью потенциалов 30кВ.
2. Рассчитать структуру «груши» электронов в тонком образце кремния, при падении электронного пучка диаметром 100мкм под прямым углом, после разгона в пушке с разностью потенциалов 50кВ.
3. Рассчитать структуру «груши» электронов в тонком образце серебра, при падении электронного пучка диаметром 100мкм под прямым углом, после разгона в пушке с разностью потенциалов 50кВ.
4. Рассчитать движение лучей в объективе с фокусным расстоянием 100мм и оптическим усилением 96 раз, состоящим из двух линз разнесенных на расстояние 5мм.
5. Рассчитать движение лучей в объективе с фокусным расстоянием 200мм и оптическим усилением 56 раз, состоящим из двух линз разнесенных на расстояние 6мм.
6. Рассчитать силу взаимодействия между поверхностью образца (железо) и иглой атомно-силового микроскопа (золото) при условии, что расстояние между ними изменяется от 0.1нм до 10нм, а радиус скругления иглы составляет 10нм.
7. Рассчитать силу взаимодействия между поверхностью образца (углерод) и иглой атомно-силового микроскопа (кремний) при условии, что расстояние между ними изменяется от 0.01нм до 1нм, а радиус скругления иглы составляет 1нм.
8. Рассчитать ближнее поле для золотой наночастицы диаметром 10нм находящейся в воздухе, при падении на нее плоской монохроматической волны ( $\lambda=520\text{нм}$ ).
8. Рассчитать ближнее поле для себеряной наночастицы диаметром 100нм находящейся в воздухе, при падении на нее плоской монохроматической волны ( $\lambda=420\text{нм}$ ).

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

**а) 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
2. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие / К.А. Батышев, В.И. Безпалько; Под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 288 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (п) ISBN 978-5-16-004821-5



3. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс]/ Неволин В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2014.— 174 с.

4. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Часть II/Величко А.А., Филимонова Н.И. - Новосибир.: НГТУ, 2014. - 227 с.: ISBN 978-5-7782-2534-3

**б) дополнительная литература:**

1. Кларк Э.Р. Микроскопические методы исследования материалов [Электронный ресурс]: монография/ Кларк Э.Р., Эберхард К.Н.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2007.— 376 с.

2. Нанотехнологии и специальные материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Ю.П. Солнцев [и др.]— Электрон. текстовые данные.— СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009.— 336 с.

3. Наноструктурные материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2009.— 488 с

4. Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 [Электронный ресурс]/ Е.А. Артамонова [и др.]— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2013.— 688 с.

5. Давыдов, Сергей Юрьевич. Элементарное введение в теорию наносистем : учебное пособие для вузов по направлениям "Электроника и микроэлектроника" и "Нанотехнологии и микросистемная техника" / С. Ю. Давыдов, А. А. Лебедев, О. В. Посредник .— Изд. 2-е, перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2014 .— 191 с. : ил. — (Учебники для вузов, Специальная литература) .— Библиогр.: с. 188-189 .— ISBN 978-5-8114-1565-6.

6. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий [Электронный ресурс]: монография/ П.А. Витязь [и др.]— Электрон. текстовые данные.— Минск: Белорусская наука, 2011.

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Современные математические-пакеты MatLab, MathCad, и др.

2. [HTTP://WWW.NANOSCOPY.ORG](http://www.NANOSCOPY.ORG).

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

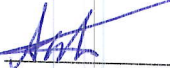
Лекционные аудитории, оснащённые доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Аудитории для проведения лабораторных занятий, оснащённые современными диагностическим, укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением (104-3, 419-3), аудитории вычислительного центра.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС  
ВО по направлению 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочую программу составил доцент кафедры ФиПМ А.О. Кучерик  
(ФИО, подпись) 

Рецензент

(представитель работодателя) 

Инженер. научно-исслед. отдела

ФГУП "Радуга" Антипов А.А.

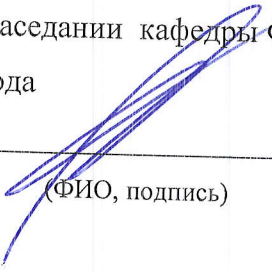
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 11 от 07.04.15 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

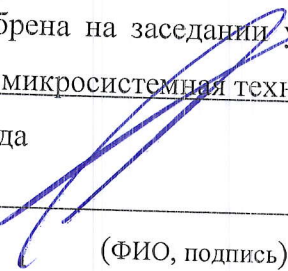
(ФИО, подпись) 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Протокол № 11 от 07.04.15 года

Председатель комиссии

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись) 

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

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 \_\_\_\_\_