

**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

« 04 » 04 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ**  
 (наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
8	4/144	18	18	18	63	Экзамен, 27
Итого	4/144	18	18	18	63	Экзамен, 27

Владимир 2015

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии» является подготовка студентов в области физических и химических основ нанотехнологий, а также ознакомление их с современным технологическим оборудованием и актуальными проблемами нанотехнологий.

Задачи дисциплины:

- изучить основные методы получения наноматериалов и наносистем;
- ознакомиться с перспективными разработками в области нанотехнологий;
- изучить аналитические методы описания физико-химических нанотехнологических процессов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологии» является обязательной дисциплиной вариативной части основной профессиональной образовательной программы. Изучение дисциплины проходит в 8 семестре, базируется на ранее полученных знаниях студентов, приобретенных в курсах общей физики, электроника и микропроцессорная техника, введение в нано-технологии, физические основы микро и нано техники. Он направлен на ознакомление с физическо-химическими процессами, а также на влияние размерных эффектов и свойств нанобъектов в развитии микро- и наноприборов.

Освоение дисциплины необходимо для изучения следующих дисциплин и практик учебного плана: «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:

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

готовностью использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-8);

готовностью работать на современном технологическом оборудовании, используемом в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-10).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1. Знать: классификацию металлов, сплавов, пассивных и активных диэлектрических и магнитных материалов, полупроводников и их соединений (ПК-2, ПК-10); основные физические явления, определяющие концентрацию и энергетический спектр носителей заряда в твердом теле (ПК-8); физические механизмы переноса и рассеяния носителей заряда в полупроводниках (ПК-2, ПК-10); физические процессы в полупроводниковых приборах, являющихся элементами микросхем (ПК-2, ПК-10).

2. Уметь: собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследований в области нанотехнологии; рассчитывать статические и динамические характеристики полупроводниковых устройств на основе данных, определяющих физические параметры материалов; рассчитывать и

проектировать элементы и устройства, основанные на различных физических принципах действия (ПК-2, ПК-8, ПК-10).

3. Владеть: основными приемами обработки и представления экспериментальных данных способностью составлять описания проводимых исследований и разрабатываемых проектов, подготовить данные для составления отчетов, обзоров и другой технической документации (ПК-2, ПК-8, ПК-10).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные 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	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Современные микро и наноустройства. Принципы работы.	8	1-2	4	4	4	-	13	-	6/50	Рейтинг-контроль №1
2	Методы синтеза наноматериалов и наноустройств.	8	3-4	4	6	4	-	16	-	7/50	
3	Электрофизические свойства материалов. Создание новых электронных устройств.	8	5-7	6	4	4	-	14	-	7/50	Рейтинг-контроль №2
4	Устройства с 3D архитектурой: свойства и методы получения.	8	8-9	4	4	6	-	20	-	5/35	Рейтинг-контроль №3
Всего		8	9	18	18	18	-	63	-	25/46	Экзамен, 27

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Темы лекций:

##### Раздел 1. Современные микро и наноустройства. Принципы работы.

1. Понятие микро и нанотехнологий. Достижимые размеры устройств и критические явления.
2. Электрические устройства и интегральные схемы.
3. Оптические элементы, однофотонные и многофотонные оптические схемы.
4. Оптоэлектрические устройства.
5. Системы на жидких элементах, коллоидная оптика и электроника.

##### Раздел 2. Методы синтеза наноматериалов и устройств.

1. Основы технологии изготовления одно-, двух- и трехмерных структур.
2. Технологические особенности формирования одномерных наноструктур.
3. Технологические особенности формирования двумерных наноструктур.
4. Технологии получения интегральных схем.
5. Оптические устройства, капилеры и волноводы, оптические смещиватели.

### Раздел 3 Электрофизические свойства материалов. Создание новых электронных устройств.

1. Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории.
2. Наноструктуры: квантовые точки, гетероструктуры и сверхрешетки.
3. Искусственные атомы и их свойства.
4. Изменение электрических свойств материалов в зависимости от размера и размерности.
5. Фотолитография.
6. Нанолитографические методы получения электронных устройств.

### Раздел 4. Устройства с 3D архитектурой: свойства и методы получения.

1. Технологические особенности формирования трехмерных наноструктур.
2. Получение 3D-наноструктур методом ионной имплантации.
3. Физико-химические процессы плазмохимического травления.

#### Темы лабораторных работ:

1. Моделирование структуры квантовых точек с использованием потенциала Ленарда-Джонса.
2. Расчет волновой функции электрона в потенциальной яме (квантовой точке)
3. Моделирование процесса туннелирования электрона
4. Моделирование процесса миграции дефектов в объеме материала
5. Моделирование процесса осаждения наночастиц на поверхность кристаллической подложки.
6. Моделирование взаимодействия наночастиц в коллоидной системе.
7. Моделирование структуры p-n перехода в системе наноточек
8. Моделирование структуры фуллерена  $C_{60}$ .

#### Темы практических работ:

1. Физические основы электронной микроскопии.
2. Физические основы атомно-силовой микроскопии
3. Установки для получения наноуглеродных материалов.
4. Элементы метрологии в нанотехнологии.
5. Получение нанокластеров из коллоидных растворов.
6. Синтез нанокластеров из газовой фазы.
7. Механосинтез нанокластеров.
8. Методы компактирования нанопорошков.
9. Синтез углеродных нанотрубок из газовой фазы.
10. Химический синтез углеродных нанотрубок .
11. Осаждение наноразмерных пленок методом PVD.
12. Осаждение наноразмерных пленок методом молекулярно-лучевой эпитаксии.
13. Осаждение нанопленок ионно-лучевым методом.
14. Осаждение тонких пленок методом CVD.
15. Нанолитография.

## 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**

1. Основы технологии изготовления одно, двух и трехмерных структур.
2. Перспективы развития микро- и нанотехники.
3. Технологические особенности формирования одномерных наноструктур.
4. Технологические особенности формирования двумерных наноструктур.
5. Технологические особенности формирования трехмерных наноструктур.

#### **Рейтинг-контроль №2**

1. Элементы наноэлектроники.
2. Элементы нанофотоники.
3. Нанокатализаторы.
4. Наноструктуры и нанотехнологии: нанотрубки, одноатомные слои, квантовые точки, гетероструктуры и сверхрешетки.
5. Физико-химические методы получения нанообъектов. Основы молекулярно-лучевой эпитаксии.

#### **Рейтинг-контроль №3**

1. Основные квантоворазмерные эффекты
2. Физические основы электронно-лучевой эпитаксии.
3. Физические основы методов атомной имплантации.
4. Физические основы молекулярно-лучевой эпитаксии.
5. Установки для получения нанокристаллических материалов.
6. Применение и перспективы развития нанотехнологии. Элементы метрологии в нанотехнологии.

### **б) Вопросы к экзамену**

1. Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории.
2. Электропроводность полупроводников (собственная, примесная).
3. Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках.
4. Диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводниках.
5. Поведение полупроводников в сильных электрических полях.
6. Механизм образования p-n-перехода, высота и ширина потенциаль-

ного барьера в равновесном состоянии. Наноструктуры : квантовые точки, гетероструктуры и сверхрешетки.

7. Физико-химические методы получения нанобъектов.
8. Основные квантоворазмерные эффекты..
9. Физические основы электронной микроскопии.
10. Фотолитография
11. Способы экспонирования
12. Фотошаблоны и технология их получения
13. Методы и технология формирования рисунка тонкопленочных элементов
14. Физические основы атомно-силовой микроскопии
15. Установки для получения наноуглеродных материалов.
16. Применение и перспективы развития нанотехнологии.
17. Термическое испарение в вакууме
18. Ионно-плазменное распыление
19. Элементы метрологии в нанотехнологии.
20. Получение нанокластеров из коллоидных растворов.
21. Синтез нанокластеров из газовой фазы.
22. Осаждение наноразмерных пленок методом PVD.
23. Осаждение наноразмерных пленок методом молекулярно-лучевой эпитаксии.
24. Осаждение нанопленок ионно-лучевым методом.
25. Осаждение тонких пленок методом CVD.
26. Получение нанопленок методом молекулярного наслаивания.
27. Получение нанопленок методом Ленгмюра-Блоджетт.
28. Получение органо-неорганических покрытий с помощью золь-гель технологии.
29. Литография: этапы, виды.
30. Получение 3D-наноструктур методом ионной имплантации.
31. Физико-химические процессы плазмохимического травления.
32. Наноструктурирование приповерхностного слоя материалов.
33. Тонкопленочные резисторы
34. Тонкопленочные конденсаторы
35. Тонкопленочные индуктивности

**в) Вопросы для самостоятельной работы студента**

1. Какие основные виды материалов используются в электронике?
2. Как можно классифицировать материалы в зависимости от электропроводности?
3. Как изменяется электропроводность материалов в зависимости от воздействия внешних условий (например, температуры)?
4. Классификация материалов по электропроводности.
5. Какое количество типов кристаллических решеток твердых тел существует в природе?
6. Каково строение кристаллической решетки металлов, диэлектриков и полупроводников?

7. Каковы особенности связей между узлами кристаллической решетки в металлах, диэлектриках и полупроводниках?
8. Что такое анизотропия свойств в кристаллах и с чем это связано?
9. Приведите примеры материалов, обладающих полупроводниковыми свойствами.
10. Как в зависимости от строения кристаллической решетки можно классифицировать полупроводниковые материалы?
11. Какие виды дефектов кристаллической решетки вы знаете и на что они влияют?
12. Какие основные принципы и соотношения из аппарата квантовой механики, используемые для описания поведения заряженных частиц в твердых телах, вы знаете?
13. Приведите примеры квантово-механических моделей движения
14. частиц в твердом теле. Рассмотрите их особенности.
15. Какие типы энергетических зон существуют в твердых телах для заряженных частиц?
16. Как называется твердое тело, у которого зона проводимости и валентная зона перекрываются?
17. Какую величину составляет ширина запрещенной зоны в диэлектриках, полупроводниках и металлах?
18. Какие типы полупроводников в зависимости от типа электропроводности вы знаете?
19. Каков механизм получения полупроводников с требуемым типом электропроводности?
20. Что такое PVD и CVD? В чем различия?
21. Метод обратных мицелл?
22. Открытый химический реактор, метод контроля химических процессов?
23. Эффекты самоорганизаций в открытых и закрытых реакторах?
24. Методы лигандных кластеров.
25. Комплексы и композитные материалы.
26. Ультрадисперсные системы: особенности физических и химических процессов в коллоидах.
27. Распространение света в коллоидной системе
28. Перенос заряда в ультрадисперсной системе
29. Методы легирования полупроводников
30. Методы получения диэлектрических слоев в устройствах электроники

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

### **а) основная литература:**

1. Методы получения и исследования наноматериалов и нано-структур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е. Д. Мишина [и др.] ; под ред. А. С. Сигова. - 4-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.- 184 с. : ил.- (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-9963-2360-9.



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

3. Игнатов А.Н. Нанoeлектроника. Состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Н. Игнатов. - М. : ФЛИНТА, 2012. - 360 с. - ISBN 978-5-9765-1619-9.

**б) дополнительная литература:**

1. Физические основы микро- и нанотехнологий: Учеб. пособие / С.П. Бычков, В.П. Михайлов, Ю.В. Панфилов, Ю.Б. Цветков; Под ред. Ю.Б. Цветкова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 176 с.: ил. - ISBN 978-5-7038-3319-3.

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.

3. Микро- и нанoeлектроника/ДрагуновВ.П., ОстертакД.И. - Новосиб.: НГТУ, 2012. - 38 с.: ISBN 978-5-7782-2095-9

4. Нанoeлектроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова. - 2-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 342 с. : ил. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-1055-5.

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

1. [HTTP://WWW.NANOSCOPY.ORG](http://www.nanoscopy.org)

2. <http://www.nanometer.ru/>

3. <http://www.nanonewsnet.ru/>

4. <http://thesaurus.rusnano.com/>

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

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

Аудитории для проведения занятий, оснащённые современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением. 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)

Ан. Анисимов И.А. Учен. спец. кафедры

член. отдела ФАП "ГАП Радуга"

(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 2018-2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 03.09.18 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

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 \_\_\_\_\_