

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 ОД  
А.А.Панфилов

« 03 » 09 2018 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	16	16	16	69	Экзамен, 27
Итого	4/144	16	16	16	69	Экзамен, 27

Владимир 2018

## 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 наноустройств.

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	-	16	-	6/50	Рейтинг-контроль №1
2	Методы синтеза наноматериалов и наноустройств.	8	3-4	4	4	4	-	16	-	6/50	
3	Электрофизические свойства материалов. Создание новых электронных устройств.	8	5-7	4	4	4	-	17	-	6/50	Рейтинг-контроль №2
4	Устройства с 3D архитектурой: свойства и методы получения.	8	8-9	4	4	4	-	20	-	6/50	Рейтинг-контроль №3
Всего		8	9	16	16	16	-	69	-	24/50	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 схема.
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, каплеры 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<sub>60</sub>.

#### Темы практических работ:

1. Физические основы электронной микроскопии.
2. Физические основы атомно-силовой микроскопии
3. Установки для получения нанокластерных 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 преподавания 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 наноуглеродных 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 р-п-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. Неволин, В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс] / В. К. Неволин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Техносфера, 2014. — 174 с. — 978-5-94836-382-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26894.html>

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/Драгунов В.П., Остертак Д.И. - Новосибир.: 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 каф. ФиПМ Золотов А.Н.  
(ФИО, подпись)

Рецензент  
(представитель работодателя) Нач.НИИКО-2 ФКП-«ГЛП Радуга» Антипов А.А.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол №1 от 03.09.2018 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 №1 от 03.09.2018 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ 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 \_\_\_\_\_