

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
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 физико-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 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 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 нанопластики.
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 нанообъектов.
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. Наноэлектроника. 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 наноэлектроника/ДрагуновВ.П., ОстертакД.И. - Новосиб.: НГТУ, 2012. - 38 с.: ISBN 978-5-7782-2095-9

4. Наноэлектроника [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 современным 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. Уч. спец. кафедры -
7 вкл. отдела ФАП "ГАПР Рязань"
(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 2019-2020 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 02.09.19 года

Заведующий кафедрой _____ С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 2020-2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой _____ С.М. Аракелян