

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)

Институт прикладной математики, физики и информатики
(Наименование института)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



К.С. Хорьков

08

2021 г.

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

направление подготовки / специальность

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

Нанотехнологии и микросистемная техника
(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир
Год 2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Нанотехнологии и микросистемная техника» является подготовка студентов в области физических и химических основ нанотехнологий, а также ознакомление их с современным технологическим оборудованием и актуальными проблемами нанотехнологий.

Задачи:

- формирование навыков проведения термодинамических и кинетических расчетов технологических процессов;
- формирование знаний в области способов нанесения, удаления и модифицирования вещества на микро- и наноуровне, используемых при создании компонентов твердотельной электроники и интегральных схем;
- изучение базовых процессов и оборудования, используемых в традиционной микротехнологии, а также специфических процессов, позволяющих формировать структуры на молекулярном уровне и основанные на способности к самоорганизации, селективности, анизотропии.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Нанотехнологии и микросистемная техника» относится к обязательной части основной профессиональной образовательной программы.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	<p>ПК-1.1. Знает основные физико-математические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологий и микросистемной техники, а также методы моделирования.</p> <p>ПК-1.2. Умеет проводить моделирование процессов, явлений и объектов в области нанотехнологий и микросистемной техники, в том числе с использованием современных программных средств.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками анализа процессов и объектов нанотехнологий и микросистемной техники на основе физико-математического и компьютерного моделирования.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники; <p>Владеть (навыки):</p> <ul style="list-style-type: none"> • математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники; 	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание Эссе
ПК-2. Способен проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано-микросистемной техники	<p>ПК-2.1. Знает основные физико-химические модели в области нанотехнологий и микросистемной техники, методы проведения экспериментов и наблюдений, структуру, свойства и назначение наноматериалов и наноструктур.</p> <p>ПК-2.2. Умеет применять методы проведения</p>	<p>Знать:</p> <p>основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано-микросистемной техники</p> <p>Уметь:</p> <p>планировать и проводить исследования по синтезу и анализу материалов и</p>	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание Эссе

	экспериментов для анализа работы и синтеза микроэлектромеханических устройств, материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. ПК-2.3. Владеет навыками проведения экспериментов, наблюдений и измерений, анализа мультифизических взаимодействий, процессов и явлений в области нанотехнологий и микросистемной техники.	компонентов нано- и микросистемной техники; Владеть: навыками выбора оптимальных методов проведения исследований материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;	
ПК-4. Способен совершенствовать процессы измерений параметров модификации свойств наноматериалов и наноструктур	ПК-4.1. Знает основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур, а также назначение, устройство и принцип действия используемого для этого оборудования. ПК-4.2. Умеет работать на измерительном и технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией. ПК-4.3. Владеет навыками внедрения и контроля качества новых методов измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.	Знать: • базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов; Уметь: • осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования; Владеть (навыки): • навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования;	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание Эссе

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Введение в основы нанотехнологий	8	1-2	4	2	2		13	
2	Системный подход к процессам микро- и нанотехнологий	8	3-5	6	4	4		12	рейтинг-контроль №1
3	Квазиравновесные методы формирования нанослоевых и наноструктурированных композиций.	8	6-7	4	6	6		17	
	Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и нанoeлектроники	8	8-9	4	6	6		12	рейтинг-контроль №2
Всего за 1 семестр:		8	1-9	18	18	18		54	
Наличие в дисциплине КП/КР		–	–	–	–	–	–	–	
Итого по дисциплине		8	1-9	18	18	18		54	Экзамен 36 ч.

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение в основы нанотехнологий

Тема 1. Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Список рекомендуемой литературы.

Тема 2. Введение в нанотехнологию.

Тема 3. Современные методы нанотехнологии.

Тема 4. Организационно-технологические основы производства изделий с использованием микро – и нанотехнологий.

Раздел 2 Системный подход к процессам микро- и нанотехнологий

Тема 1. Системная модель технологического процесса (объект, воздействие, процесс).

Тема 2. Классификация процессов микро – и нанотехнологий по физико-химической сущности (механический, термический, химический, корпускулярно – полевой); по виду процесса (нанесение, удаление, модифицирование).

Тема 3. Классификация микро – и нанотехнологий по характеру протекания процессов (тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный); по способу активации (тепло, излучение, поле).

Тема 4. Виды термического и корпускулярно – лучевого воздействия (резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки).

Раздел 3. Квазиравновесные методы формирования нанослойных и наноструктурированных композиций.

Тема 1. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия.

Тема 2. Лазерная абляция. Золь-гель технологии.

Тема 3. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы.

Раздел 4. Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и нанoeлектроники

Тема 1. Классификация процессов литографии. Физикохимические основы процесса фотолитографии.

Тема 2. Получение рисунка интегральной схемы методами фото-, рентгено- и электролитографии. Нанолитография.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Тема 1. Системная модель технологического процесса

Тема 2. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Тема 3. Газофазная эпитаксия. Суть метода, области применения.

Тема 4. Лазерная абляция. Суть метода и возможности.

Тема 5. Золь-гель технологии. Виды оборудования. Области применения.

Тема 6. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы.

Тема 7. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Как происходит, описание, где применяется.

Тема 8. Нанолитография. Описание метода, видя установок, области применения.

Содержание практических работ по дисциплине

Тема 1. Описать этапы технического процесса (задаётся преподавателем).

Тема 2. Современные представления о нанотехнологиях. Как понятие нанотехнологии изменилось со временем.

Тема 3. Производство изделий с использованием нано и микротехнологий. Применение в отраслях промышленности.

Тема 4. Классификация процессов микро и нанотехнологий.

Тема 5. Термическое и корпускулярно волновое воздействие. Описание, область применения.

Тема 6. Методы формирования наноструктурированных композиций. Какие существуют и где применяются.

Тема 7. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы. Описание процесса, область применения.

Тема 8. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Описание процесса, область применения.

Тема 9. Литография. Фотолитография. Описание установок, области применения методов.

Тема 10. Нанолитография. Виды, установки, области применения.

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

5.1. Текущий контроль успеваемости

Вопросы рейтинг-контроля 1

1. Характеристика основных видов наноматериалов.
2. Методы современной нанотехнологии. Приведите пример практического применения нанотехнологий.
3. Опасности, связанные с нанотехнологиями.
4. Основные технологические этапы производства изделий с использованием нанотехнологий.
5. Системная модель технологического процесса.
6. Процессы микро – и нанотехнологий по физико-химической сущности: механический, термический.
7. Процессы микро – и нанотехнологий по физико-химической сущности: химический, корпускулярно – полевой.
8. Процессы микро – и нанотехнологий по виду: нанесение, удаление, модифицирование.
9. Тотальный, локальный, селективный, избирательный и анизотропный характеры протекания процессов.
10. Процессы микро – и нанотехнологий по способу активации.

Вопросы рейтинг-контроля 2

1. Что такое молекулярно-лучевая эпитаксия? Плюсы и минусы.
2. Описание метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Описание установки.
3. Что такое газофазная эпитаксия? Описание метода.
4. Области применения молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии.
5. Что такое лазерная абляция? Описание метода, его плюсы и минусы.
6. Технологически важные параметры лазерной абляции.
7. Описание золь-гель метода.
8. Область применения золь-гель технологий. Плюсы и минусы золь-гель метода.
9. Что такое молекулярно-химическая сборка? Описание метода.
10. Что можно получить при помощи метода молекулярно-химической сборки?
11. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Описание метода.
11. При каких условиях применяется молекулярное наслаивание из жидкой фазы?
12. Можно ли управлять наноструктурированием веществ и материалов с помощью молекулярного наслаивания? Как?
13. Отличие молекулярно-химической сборки от молекулярного наслаивания.

Вопросы рейтинг-контроля 3

1. Что такое литография? Описание метода. Процессы литографии.
2. Техника работы и технология печати.
3. Область применения литографии.

4. Определение фотолитографии. Ее особенности. Пошаговый процесс фотолитографии. Для чего нужна.

5. Определения фотолитографии, рентгенографии, электрографии. Принципиальные отличия.

6. Получение рисунка интегральной схемы методом фотолитографии. Получение рисунка интегральной схемы методом рентгенографии. Получение рисунка интегральной схемы методом электрографии.

7. Определение нанолитографии.

8. Процесс нанолитографии. Область применения нанолитографии.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).

1. Основные операции технологического процесса фотолитографии.

2. Оптическая литография высокого разрешения.

3. Рентгеновская литографии.

4. Электронно-лучевая литографии.

5. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

6. Газофазная эпитаксия.

7. Лазерная абляция.

8. Золь-гель технологии.

9. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы.

10. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы.

11. Классификация процессов микро – и нанотехнологий по физико-химической сущности (механический, термический, химический, корпускулярно – полевой).

12. Классификация процессов микро – и нанотехнологий по виду процесса (нанесение, удаление, модифицирование).

13. Классификация микро – и нанотехнологий по характеру протекания процессов (тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный).

14. Классификация процессов микро – и нанотехнологий по способу активации (тепло, излучение, поле).

15. Виды термического и корпускулярно – лучевого воздействия (резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки).

16. Классификация процессов микро – и нанотехнологий по способу активации.

17. Виды термического и корпускулярно – лучевого воздействия (резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки).

18. Классификация процессов литографии.

19. Физикохимические основы процесса фотолитографии.

20. Нанолитография.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

1. Типы, основные характеристики подложек и их маркировка.

2. Технология механической обработки подложек.

3. Технология химической обработки подложек. Кинетика процесса травления.

4. Термохимическое и ионно-плазменное травление кремниевых пластин.

5. Получение диэлектрических пленок химическим осаждением из газовой фазы.

6. Вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение.

7. Катодное и магнетронное распыление.

8. Ионно-плазменное и плазмохимическое осаждение.

9. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Термодинамика процесса роста.

10. Газофазная эпитаксия кремния. Дефекты эпитаксиальных пленок.

11. Фоторезисты и их характеристики.

12. Фотошаблоны и технология их изготовления.

13. Сборка и герметизация микроэлектронных устройств.

14. Физико-технологические и экономические ограничения миниатюризации и интеграции.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Левицкий, А.А. Проектирование микросистем. Программные средства обеспечения САПР : учебное пособие / А.А. Левицкий, П.С. Маринушкин. — Красноярск : СФУ, 2010. — 156 с. — ISBN 978-5-7638-2111-6.	2010	https://e.lanbook.com/book/6046
2. Барыбин А.А. Физико-технологические основы макро-, микро-, и нанoeлектроники / А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011;	2011	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.html
3. Светличный, А. М. Фотонно-стимулированные технологические процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие / А. М. Светличный, И. Л. Житяев. — Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. — 104 с. — ISBN 978-5-9275-2395-5.	2018	http://www.iprbookshop.ru/87516.html
4. Рыжонков Д.И., Дзидзигури Э.Л., Левина В.В. Наноматериалы. Учебное пособие/ Д.И. Рыжонков, Э.Л. Дзидзигури, В.В. Левина – Издательство: Бинوم. Лаборатория знаний, 2020.	2020	http://www.iprbookshop.ru/88484.html
Дополнительная литература		
1. Нарайкин О. С. Введение в микросистемную технику: учеб. пособие/ О. С. Нарайкин – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.	2011	http://www.iprbookshop.ru/30927.html
2. Евдокимов А.А., Вальднер В.О., Мишина Е.Д. Получение и исследование наноструктур. Лаб. практикум по нанотехнологиям. Учеб. пособие/ А.А. Евдокимов, В.О. Вальднер, Е.Д. Мишина – Изд – во: Бинوم. Лаборатория знаний, 2014	2014	http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/1124/3/00537.pdf

6.2. Интернет-ресурсы

- <http://www.lib.vsu.ru.ru/>
- <http://www.nanometer.ru/>
- <http://www.nanonewsnet.ru/>
- <http://thesaurus.rusnano.com/>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Перечень используемого оборудования:

- 1) Вихретоковый измеритель электропроводности металлов ВЭ-27НЦ/4-5
- 2) Микротвердомер ПМТ
- 3) Стационарный твердомер по Роквеллу ТН301
- 4) Твердомер ультразвуковой (контактно-импедансный) ТКМ-459М

Практические/лабораторные занятия проводятся в лабораториях физики и компьютерных классах прикладной математики Института прикладной математики, физики и информатики ВлГУ.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения:

- 1) GPSS World Student Version (свободно распространяемое);
- 2) MS Word;
- 3) MS PowerPoint;
- 4) MS Visual Studio.

Рабочую программу составил доцент каф. ФиПИМ Золотов А.Н.
(должность, ФИО, подпись)

Рецензент
Генеральный директор ООО «ВладИнТех» А.В. Осипов
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПИМ
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Заведующий кафедрой С.М. Аракелян
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании учебно-методической комиссии направления 28.03.01
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Председатель комиссии С.М. Аракелян
(ФИО, должность, подпись)

ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____