

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 образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 02 » 09 2019 г.

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

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки: 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 промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
8	4/144	18	18	18	54	Экзамен, 36
Итого	4/144	18	18	18	54	Экзамен, 36

## 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:

- 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 ВО

Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологии» является обязательной дисциплиной обязательной части основной профессиональной образовательной программы. Изучение дисциплины проходит в 8 семестре, базируется на ранее полученных знаниях студентов, приобретенных в курсах общей физики, электроники 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. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-5	частичное освоение	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• перечень оборудования на производстве и в лаборатории, обеспечивающего безопасное производство при производстве и исследовании материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;</li><li>• основы нанобезопасности;</li></ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• оценивать по критериям эффективности и безопасности технические решения по технологии и применению материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;</li></ul> <p>Владеть (навыки):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• методами анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;</li></ul>

ОПК-7		<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• прикладные программы и средства автоматизированного проектирования, используемые при решении инженерных задач;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов;</li> </ul> <p>Владеть (навыки):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методиками организации работы персонала, соблюдения технологической и трудовой дисциплины;</li> </ul>
ПК-1		<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники;</li> </ul> <p>Владеть (навыки):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники;</li> </ul>
ПК-4		<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования;</li> </ul> <p>Владеть (навыки):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования;</li> </ul>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем 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, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Введение в основы нанотехнологий	8	1-2	4	2	2	13	4/50%	рейтинг-контроль №1
2	Системный подход к процессам микро- и нанотехнологий	8	3-5	6	4	4	12	6/42%	
3	Квазиравновесные методы формирования нанослоевых и наноструктурированных композиций.	8	6-7	4	6	6	17	8/50%	рейтинг-контроль №2

4	Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и нанoeлектроники	8	8-9	4	6	6	12	8/50%	рейтинг-контроль №3
	Наличие в дисциплине КП/КР	–	–	–	–	–	–	–	
	Итого по дисциплине	8	1-9	18	18	18	54	26/60%	Экзамен 36 час

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### Раздел 1. Введение в основы нанотехнологий

1. Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Список рекомендуемой литературы.
2. Введение в нанотехнологию.
3. Современные методы нанотехнологии.
4. Организационно-технологические основы производства изделий с использованием микро – и нанотехнологий.

#### Раздел 2. Системный подход к процессам микро- и нанотехнологий

1. Системная модель технологического процесса (объект, воздействие, процесс).
2. Классификация процессов микро – и нанотехнологий по физико-химической сущности (механический, термический, химический, корпускулярно – полевой); по виду процесса (нанесение, удаление, модифицирование).
3. Классификация микро – и нанотехнологий по характеру протекания процессов (тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный); по способу активации (тепло, излучение, поле).
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.

1. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия.
2. Лазерная абляция. Золь-гель технологии.
3. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы.

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

1. Классификация процессов литографии. Физикохимические основы процесса фотолитографии.
2. Получение рисунка интегральной схемы методами фото-, рентгено- и электролитографии. Нанолитография.

### Содержание лабораторных занятий по дисциплине

1. Системная модель технологического процесса
2. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
3. Газофазная эпитаксия. Суть метода, области применения.
4. Лазерная абляция. Суть метода и возможности.
5. Золь-гель технологии. Виды оборудования. Области применения.
6. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы.
7. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Как происходит, описание, где применяется.
8. Нанолитография. Описание метода, видя установок, области применения.

### Содержание практических работ по дисциплине

1. Описать этапы технического процесса (задаётся преподавателем).
2. Современные представления о нанотехнологиях. Как понятие нанотехнологии изменилось со временем.
3. Производство изделий с использованием нано и микротехнологий. Применение в

- отраслях промышленности.
4. Классификация процессов микро и нанотехнологий.
  5. Термическое и корпускулярно волновое воздействие. Описание, область применения.
  6. Методы формирования наноструктурированных композиций. Какие существуют и где применяются.
  7. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы. Описание процесса, область применения.
  8. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Описание процесса, область применения.
  9. Литография. Фотолитография. Описание установок, области применения методов.
  10. Нанолитография. Виды, установки, области применения.

## 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 ЭВМ);
- обучение в малых группах (выполнение лабораторных работ в группах из двух трёх человек);
- мастер-классы (демонстрация на лабораторных занятиях использования диагностической техники на конкретных задачах: исследовании свойств наноструктурированных материалов).

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

### а) Вопросы рейтинг-контроля:

#### Примерные вопросы к рейтинг-контролю №1

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

#### Примерные вопросы к рейтинг-контролю №2

Что такое молекулярно-лучевая эпитаксия? Плюсы и минусы. Описание метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Описание установки. Что такое газофазная эпитаксия? Описание метода. Области применения молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии. Что такое лазерная абляция? Описание метода, его плюсы и минусы. Технологически важные параметры лазерной абляции. Описание золь-гель метода. Область применения золь-гель технологий. Плюсы и минусы золь-гель метода. Что такое молекулярно-химическая сборка? Описание метода. Что можно получить при помощи метода молекулярно-химической

сборки? Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Описание метода. При каких условиях применяется молекулярное наслаивание из жидкой фазы? Можно ли управлять наноструктурированием веществ и материалов с помощью молекулярного наслаивания? Как? Отличие молекулярно-химической сборки от молекулярного наслаивания.

### **Примерные вопросы к рейтинг-контролю №3**

Что такое литография? Описание метода. Процессы литографии. Техника работы и технология печати. Область применения литографии. Определение фотолитографии. Ее особенности. Пошаговый процесс фотолитографии. Для чего нужна. Определения фотолитографии, рентгенографии, электронографии. Принципиальные отличия. Получение рисунка интегральной схемы методом фотолитографии. Получение рисунка интегральной схемы методом рентгенографии. Получение рисунка интегральной схемы методом электронографии. Определение нанолитографии. Процесс нанолитографии. Область применения нанолитографии.

#### **б) Вопросы к экзамену**

1. Основные операции технологического процесса фотолитографии.
2. Оптическая литография высокого разрешения.
3. Рентгеновская литография.
4. Электронно-лучевая литография.
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.

#### **в) Вопросы для самостоятельной работы студента**

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 средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
<b>Основная литература</b>			
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.			<a href="https://e.lanbook.com/book/6046">https://e.lanbook.com/book/6046</a>
2. Барыбин А.А. Физико-технологические основы макро-, микро-, и наноэлектроники / А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011;	2011		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.html</a>
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		<a href="http://www.iprbookshop.ru/87516.html">http://www.iprbookshop.ru/87516.html</a>
4. Рыжонков Д.И., Дзидзигури Э.Л., Левина В.В. Наноматериалы. Учебное пособие/ Д.И. Рыжонков, Э.Л. Дзидзигури, В.В. Левина – Издательство: Бином. Лаборатория знаний, 2020.	2020		<a href="http://www.iprbookshop.ru/88484.html">http://www.iprbookshop.ru/88484.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
1. Нарайкин О. С. Введение в микросистемную технику: учеб. пособие/ О. С. Нарайкин – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.	2011		<a href="http://www.iprbookshop.ru/30927.html">http://www.iprbookshop.ru/30927.html</a>
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: Бином. Лаборатория знаний, 2014	2014		<a href="http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/1124/3/00537.pdf">http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/1124/3/00537.pdf</a>

### 7.2 Интернет-ресурсы:

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

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа,

аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Перечень используемого оборудования:

- 1) Вихрековый 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.

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) Ген. Директор ООО «ВладИнТех» Осипов А.В.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ  
Протокол № 1 от 02.09.2019 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян  
(, подпись, ФИО)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
Протокол № 1 от 02.09.2019 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян  
(подпись, ФИО)



**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 \_\_\_\_\_