

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

« 31 » 08 2020г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

«Технологии производства микро- и наносистем»  
(наименование дисциплины)

**Направление подготовки:** 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

**Профиль/программа подготовки:** «Инженерно-физические технологии в  
наноиндустрии»

**Уровень высшего образования:** магистратура

**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)
2	7/252	18	18	36	144	Экзамен (36)
Итого	7/252	18	18	36	144	Экзамен (36)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины - приобретение студентами знаний о технологических процессах изготовления микро- и наносистем, о специализированных процессах поверхностной и объемной микрообработки кремния.

Задачи:

- ознакомление с принципами технологических процессов изготовления микро- и наносистем;
- формирование понятий о микро- и наносистемах;
- получение представлений о современных методах микрообработки кремния;

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Технологии производства микро- и наносистем» относится обязательным дисциплинам ОПОП. Курс читается в 2 семестре.

Данная дисциплина базируясь на знаниях, полученных в ходе освоения курсов, изучаемых в программе бакалавриата: физика, информатика, физические основы микро- и наносистемной техники, микроэлектромеханические системы, компоненты микросистемной техники.

## 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
<b>ПК-1</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– принципы построения и функционирования изделий нанотехнологии и микросистемной техники;</li><li>– мировые достижения в области разработки микро- и наноразмерных электромеханических систем</li></ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– рассчитывать режимы работы изделий нанотехнологии и микросистемной техники;</li><li>– формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники;</li></ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследований.</li></ul>
<b>ОПК-4</b>	<i>частичное освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования;</li><li>– примеры постановки задач научных исследований в области нанотехнологий и микросистемной техники и в смежных областях;</li><li>– методы анализа экспериментальных данных в области нанотехнологий и микросистемной техники и в смежных областях;</li><li>– роль междисциплинарного подхода в современной методологии</li></ul>

		<p>научного познания.</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований;</li> <li>– актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области нанотехнологий и микросистемной техники;</li> <li>– формировать демонстрационный материал по результатам исследований.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками составления описания планируемого научного исследования.</li> <li>– навыками использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области нанотехнологий и микросистемной техники;</li> <li>– навыками представления результатов своей исследовательской деятельности.</li> </ul>
<b>ОПК-3</b>	<i>частично е освоение</i>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– жизненный цикл проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учётом экономических, экологических, социальных и других ограничений;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проводить технико-экономическое обоснование и финансовую оценку решений и инженерных задач на различных этапах жизненного цикла проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники;</li> <li>– анализировать и оценивать затраты проекта с учётом инженерных рисков;</li> <li>– проводить экологическую оценку проектных решений и инженерных задач;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современными методами анализа эффективности экономической оценки проектных решений и инженерных задач проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники;</li> </ul> <p>навыками учёта экономических, экологических, социальных и других ограничений при создании инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часов.

№ 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	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной
-------	--	---------	-----------------	--	-------------------------	---

				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	применение м интерактивных методов (в часах / %)	аттестации (по семестрам)
1	Раздел 1. Основы технологии микроэлектроники	2	1-6	6	6	14	44	13/50%	Рейтинг-контроль №1
2	Раздел 2. Квазиравновесные методы формирования нанослоевых и наноструктурированных композиций	2	7-12	6	6	16	50	14/50%	Рейтинг-контроль №2
3	Раздел 3. Методы наноразмерной обработки и наномодификации материалов	2	13-18	6	6	6	50	9/50%	Рейтинг-контроль №3
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине		2	18	18	18	36	144	36/50%	Экзамен (36)

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### Раздел 1. Основы технологии микроэлектроники:

Тема 1. «Основные этапы получение кремния. Выращивание электронного кремния по методу Чохральского».

Тема 2. «Технологические основы пленочной микроэлектроники».

Тема 3. «Легирование полупроводников».

Тема 4. «Микролитография, виды литографии».

#### Раздел 2. Квазиравновесные методы формирования нанослоевых и наноструктурированных композиций:

Тема 1. «Молекулярно-лучевая эпитаксия».

Тема 2. «Лазерная абляция».

Тема 3. «Газофазная эпитаксия».

Тема 4. «Молекулярная химическая сборка из газовой фазы».

Тема 5. «Молекулярное наслаивание из жидкой фазы. Метод Ленгмюра-Блоджетт».

Тема 6. «Золь-гель технологии».

#### Раздел 3. Методы наноразмерной обработки и наномодификации материалов:

Тема 1. «Методы травления: ионно-лучевое нанореферирование, ионно-стимулированное селективное газовое травление, ориентационно-чувствительное жидкостное травление, электрохимическое травление».

Тема 2. «Ионное модифицирование: имплантация с кластеризацией и порообразованием, ионно-стимулированный химический синтез, протонизация, имплантография».

Тема 3. «Атомно-зондовое модифицирование: электрическое оптическое, механическое, термическое».

Тема 4. «Атомная модификация поверхности: окисление, массоперенос, активация реакций».

### Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Тема 1. «Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников. Расчет распределения примесей при диффузии».

Тема 2. «Вакуумное напыление».

Тема 3. «Перенос изображения в системе «фоторезист-подложка» контактной фотолитографией»;

Тема 4. «Нанесение металлических слоев магнетронным вакуумным методом»;

Тема 5. «Пористое анодирование алюминия, для получения наноструктур, при производстве алюмооксидных подложек»;

### Содержание практических занятий по дисциплине

Тема 1. «Основные этапы получение кремния. Выращивание электронного кремния по методу Чохральского».

Тема 2. «Технологические основы пленочной микроэлектроники».

Тема 3. «Легирование полупроводников».

Тема 4. «Микролитография, виды литографии».

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МИКРО- И НАНОСИСТЕМ» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (Раздел 1. Тема №3);*
- *Групповая дискуссия (Раздел 2. Тема №4);*
- *Анализ ситуаций (Раздел 3. Тема №4);*
- *Применение имитационных моделей (Раздел 1. Тема № 4);*
- *Разбор конкретных ситуаций (Раздел 3. Тема №3);*

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

#### а) Вопросы для экзамена

1. Кремний. Монокристаллический и поликристаллический кремний. Кремний p- и n- типа.
2. Основные операции производства микросистем.
3. Микролитография.
4. Рентгеновская литография.
5. Объёмная микротехнология.
6. Поверхностная микротехнология.
7. LIGA-процесс.
8. Бондинг процесс.
9. Технологические основы пленочной микроэлектроники.
10. Легирование полупроводников.
11. Основы молекулярно-лучевая эпитаксия.
12. Лазерная абляция.
13. Газофазная эпитаксия.
14. Молекулярная химическая сборка из газовой фазы.
15. Молекулярное наслаивание из жидкой фазы.
16. Метод Ленгмюра-Блоджетт.
17. Золь-гель технологии.
18. Ионно-лучевое нанорезерование.
19. Ионно-стимулированное селективное газовое травление.
20. Ориентационно- чувствительное жидкостное травление.
21. Электрохимическое травление.
22. Ионное модифицирование.
23. Имплантация с кластеризацией и порообразованием.
24. Ионно- стимулированный химический синтез.
25. Атомно-зондовое модифицирование.
26. Атомная модификация поверхности.

## **б) Вопросы рейтинг-контроля**

### **Вопросы рейтинг-контроля №1:**

1. Основные этапы получение кремния.
2. Выращивание электронного кремния по методу Чохральского.
3. Технологические основы пленочной микроэлектроники.
4. Легирование полупроводников.
5. Микролитография, виды литографии.

### **Вопросы рейтинг-контроля №2:**

1. LIGA-процесс.
2. Протонизация.
3. Метод Ленгмюра-Блоджетт.
4. Имплантография.
5. Золь-гель технологии.

### **Вопросы рейтинг-контроля №3:**

1. Виды травления.
2. Основы эпитаксии.
3. Ионное модифицирование.
4. Химический синтез.
5. Модификация поверхности.

## **в) Вопросы к самостоятельной работе студента**

1. Методы удаления вещества.
2. Механическое, лазерное и электронно-лучевое скрайбирование.
3. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления
4. Технология трехмерного формообразования с субмикронным разрешением.
5. Базовые процессы LIGA-технологии.
6. Гальванопластика.
7. Микропрессование.
8. Виды сборки и герметизации.
9. Монтаж кристаллов, термомеханическая совместимость кристалла и корпуса; термокомпрессия, сварка и пайка выводов;
10. Беспроволочный, объемный монтаж;
11. Корпусная и бескорпусная герметизация;
12. Сварка, пайка, обволакивание, заливка, прессование.
13. Процессы корпусирования и герметизации методами зарастивания, сращивания; термо- и электродиффузия.
14. Лазерные технологии объемного формообразования.
15. Механические технологии объемного формообразования: алмазное, электроэрозионное и ультразвуковое микропрофилирование.

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	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ

		ФГОС ВО	
1	2	3	4
<b>Основная литература*</b>			
Минько Н.И. Методы получения и свойства нанобъектов: учеб. пособие / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М. : ФЛИНТА, 2013. - 165 с.	2013		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976503267.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976503267.html</a>
Королёв М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Часть 1. Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / Королёв М.А, Крупкина Т.Ю., Ревелева М.А.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 398 с.	2015		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329045.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329045.html</a>
Королёв М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Часть 2. Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королёв, Т.Ю.Крупкина, М.Г. Путря, В.И.Шевяков. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 423 с.	2015		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785947745856.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785947745856.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
Акуленок М. В. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : учебное пособие для вузов : в 2 т. / под общ. ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. 2011. ISBN 978-5-9963-0341-0 Т. 2 : Технологические аспекты / [М. В. Акуленок, В. М. Андреев, Д. Г. Громов и др.]. - 2011. - 252 с.	2011		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996303366.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996303366.html</a>
Кузнецов Ф.А. Фундаментальные основы процессов химического осаждения пленок и структур для нанозлектроники / Ф.А. Кузнецов [и др] .— Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2013.— 176 с.	2013		<a href="http://www.iprbookshop.ru/32819.html">http://www.iprbookshop.ru/32819.html</a>
Канева И.И. Технология микро- и нанозлектроники : технология материалов магнитоэлектроники. Лабораторный практикум/ Канева И.И., Подгорная С.В., Андреев В.Г.— М.: Издательский Дом МИСиС, 2011.— 161 с.	2011		<a href="http://www.iprbookshop.ru/56196.html">http://www.iprbookshop.ru/56196.html</a>

## 7.2. Периодические издания

1. Вестник бурятского государственного университета. химия. Физика. – научн. журнал./ Гл. ред. В.В, Хахинов. – Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова (2016–2020 г.);

2. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – научн. журнал./ Гл. ред. С.А. Шабров. – Воронеж: Воронежский государственный университет (2000–2020 г.).

## 7.3. Интернет-ресурсы


1. Список публикаций сотрудников ООО «Активная оптика НайтН» // Режим доступа: [http://www.nightn.ru/files/publications/publications\\_ru.htm](http://www.nightn.ru/files/publications/publications_ru.htm).

2. Публикации сотрудников ФИАН // Режим доступа: <http://www.fian.smr.ru/rp/pub-r.html>.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия по данной дисциплине проводятся в специальных аудиториях, оснащённых доской (в том числе интерактивной), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком.

Рабочую программу составил

проф. Завыдов Н.Н.   
(ФИО, подпись)

Рецензент

(председатель работодателя)

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

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

ФиПМ

Протокол №1 от 31.08.2020 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян   
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 28.04.01

Протокол №1 от 31.08.2020 года

Председатель комиссии

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 \_\_\_\_\_