

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

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

Хорьков К.С



«30» августа 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МИКРО- И НАНОСИСТЕМ»

направление подготовки / специальность

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

направленность (профиль) подготовки

Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии

г. Владимир

2022

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Технологии производства микро- и наносистем» является 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.

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 | |
| ОПК-3. Способен управлять жизненным циклом создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений | <p>ОПК-3.1. Знает жизненный цикл проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учётом экономических, экологических, социальных и других ограничений.</p> <p>ОПК-3.2. Умеет 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 с учётом рисков и ограничений различной природы.</p> <p>ОПК-3.3. Владеет современными методами анализа эффективности экономической оценки проектных решений и инженерных задач проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учётом экономических, экологических, социальных и других ограничений.</p> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – жизненный цикл проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учётом экономических, экологических, социальных и других ограничений; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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; – анализировать и оценивать затраты проекта с учётом инженерных рисков; – проводить экологическую оценку проектных решений и инженерных задач; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – современными методами анализа эффективности экономической оценки проектных решений и инженерных задач проектов создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники; – навыками учёта экономических, экологических, социальных и других ограничений при создании инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники. | Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание |
| ОПК-4. Способен выполнять исследования при решении инженерных и научно-технических задач, включая планирование и | <p>ОПК-4.1. Знает типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования, выполнения и оценки результатов с учётом роли междисциплинарного подхода в современной методологии научного познания.</p> <p>ОПК-4.2. Умеет определять</p> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – типовую структуру описания научного исследования на этапе его планирования; – примеры постановки задач научных исследований в области нанотехнологий и микросистемной техники и в смежных областях; – методы анализа экспериментальных данных в области нанотехнологий и | Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание |

| | | | |
|---|--|---|--|
| <p>постановку сложного эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов</p> | <p>актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области нанотехнологий и микросистемной техники и формировать демонстрационный материал по результатам исследований. ОПК-4.3. Владеет методами анализа экспериментальных данных и представления результатов своей исследовательской деятельности в области нанотехнологий и микросистемной техники и в смежных областях.</p> | <p>микросистемной техники и в смежных областях; – роль междисциплинарного подхода в современной методологии научного познания. Уметь: – работать с источниками информации о программах финансовой поддержки научных исследований; – актуальность планируемых научных исследований на основе анализа источников научно-технической информации в области нанотехнологий и микросистемной техники; – формировать демонстрационный материал по результатам исследований. Владеть: – навыками составления описания планируемого научного исследования. – навыками использования междисциплинарного подхода при анализе научно-технической проблемы и планировании исследований в области нанотехнологий и микросистемной техники; – навыками представления результатов своей исследовательской деятельности.</p> | |
| <p>ПК-1. Способен формулировать цели и задачи научных исследований в области нанотехнологии и микросистемной техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p> | <p>ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий нанотехнологии и микросистемной техники. ПК-1.2. Умеет формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники. ПК-1.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследований.</p> | <p>Знать: – принципы построения и функционирования изделий нанотехнологии и микросистемной техники; – мировые достижения в области разработки микро- и наноразмерных электромеханических систем Уметь: – рассчитывать режимы работы изделий нанотехнологии и микросистемной техники; – формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники; Владеть: – навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследований.</p> | <p>Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание</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) | | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|-------|--|---------|-----------------|--|----------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|---|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | в форме практической подготовки | | |
| 1 | Раздел 1. Основы технологии микроэлектроники | 2 | 1-6 | 6 | 6 | 14 | - | 44 | Рейтинг-контроль №1 |
| 2 | Раздел 2. Квазиравновесные методы формирования нанослоевых и наноструктурированных | 2 | 7-12 | 6 | 6 | 16 | - | 50 | Рейтинг-контроль №2 |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|---|-------|----|----|----|---|-----|---------------------|
| | композиций | | | | | | | | |
| 3 | Раздел 3. Методы наноразмерной обработки и наномодификации материалов | 2 | 13-18 | 6 | 6 | 6 | - | 50 | Рейтинг-контроль №3 |
| Всего за 2 семестр | | 2 | 18 | 18 | 18 | 36 | - | 144 | Экзамен (36) |
| Наличие в дисциплине КП/КР | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Итого по дисциплине | | 2 | 18 | 18 | 18 | 36 | - | 144 | 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 нанотравление, 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

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

Раздел 2. «Вакуумное напыление».

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

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

Раздел 5. «Пористое анодирования алюминия, для получения наноструктур, при производстве алюмооксидных подложек»;

Содержание практических занятий по дисциплине

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

Раздел 2. «Технологические основы пленочной микроэлектроники».

Раздел 3. «Легирование полупроводников».

Раздел 4. «Микролитография, виды литографии».

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

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №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.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2:

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

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3:

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

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

Примерный перечень вопросов

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 нанолитографирование.
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.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Технологии производства микро- и наносистем» включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на практических работах.
- 2) Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции и при подготовке к практическим работам. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций и рекомендованной литературы.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, семинарах, практических занятиях, лабораторных занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую как в аудитории, так и вне её.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты практических работ и на экзамене.

Перечень вопросов на самостоятельную работу:

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 наращивания, сращивания; термо- и электродиффузия.
14. Лазерные технологии объемного формообразования.
15. Механические технологии объемного формообразования: алмазное, электроэрозионное и ультразвуковое микропрофилирование.

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 электронной библиотеке ВлГУ |
| Основная литература | | |
| Минько Н.И. Методы получения и свойства нанообъектов: учеб. пособие / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. - 2-е изд., стер. - М. : ФЛИНТА, 2013. - 165 с. | 2013 | http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976503267.html |

| | | |
|--|------|---|
| 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 | http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329045.html |
| 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. Путья, В.И.Шевяков. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 423 с. | 2015 | http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785947745856.html |
| Дополнительная литература | | |
| 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 | http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996303366.html |
| Кузнецов Ф.А. Фундаментальные основы процессов химического осаждения пленок и структур для нанoeлектроники / Ф.А. Кузнецов [и др] .— Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2013.— 176 с. | 2013 | http://www.iprbookshop.ru/32819.html |
| Канева И.И. Технология микро- и нанoeлектроники : технология материалов магнитоэлектроники. Лабораторный практикум/ Канева И.И., Подгорная С.В., Андреев В.Г.— М.: Издательский Дом МИСиС, 2011.— 161 с. | 2011 | http://www.iprbookshop.ru/56196.html |

6.2. 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.).

6.3. Интернет-ресурсы

1. Список публикаций сотрудников ООО «Активная оптика НайтН» // Режим доступа: http://www.nightn.ru/files/publications/publications_ru.htm.
2. Публикации сотрудников ФИАН // Режим доступа: <http://www.fian.smr.ru/rp-public.html>.
3. <http://micromachine.narod.ru/dgn.htm> – портал о разработках микросистем.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации образовательного процесса по дисциплине используются аудитории кафедры «Физики и Прикладной Математики», оснащенные мультимедийным и проекционным оборудованием.

Кафедра располагает компьютерным классом с современным лицензионным и свободным программным обеспечением (MS Excel, MathCAD, MATLAB, VisualStudio, AutoCAD и др.), локальной вычислительной сетью и доступом в Интернет.

Практические работы проводятся в форме индивидуально-групповых занятий с использованием электронно-вычислительных средств обучения и современной экспериментально-исследовательской базы.

Рабочую программу составил доцент кафедры ФиПМ Золотов А.Н.

Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех»

А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры физики и прикладной математики
Протокол № 1 от 30.08.2022 года

И.о. заведующего кафедрой

С.И. Абрахин

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании учебно-методической комиссии направления 28.04.01 Нанотехнологии и
микросистемная техника
Протокол №1 от 30.08.2022 года
Председатель комиссии _____

(ФИО, подпись)

С.И. Абрахин

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 _____