

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
«КОМПОНЕНТЫ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ»

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 «Компоненты микросистемной техники» является приобретение студентами знаний об компонентах микросистемной техники, характеристиках, базовых физических принципах их функционирования, особенностях применения и технологических процессах их изготовления.

Задачи:

- изучение базовых конструкций и технологии изготовления компонентов микросистем;
- изучение физических принципов функционирования микро и нанoeлектронных компонентов микросистем;
- изучение основных технических характеристик микroeлектронных компонентов микросистем и областей их применения;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Проектирование микро- и наносистем» относится к обязательной части ОПОП и вариативным дисциплинам блока Б1 учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

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 формулировать цели и задачи научных исследований в области нанотехнологии и микросистемной техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	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.	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.	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание
ПК-2. Способен разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и	ПК-2.1. Знает структуру методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники. ПК-2.2. Умеет анализировать результаты исследований и измерений параметров и характеристик изделий	Знать: – структуру методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники; – методы контроля базовых технологических процессов	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание

микросистемной техники, анализировать их результаты	нанотехнологии и микросистемной техники. ПК-2.3. Владеет навыками разработки методик проведения исследований и измерений.	производства микро- и наноразмерных электромеханических систем; Уметь: – анализировать результаты исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники; Владеть: – навыками разработки методик проведения исследований и измерений.	
---	---	--	--

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	Общие положения	3	1-2	4	-	4	-	40	Рейтинг-контроль №1
2	Сенсорные компоненты микросистемной техники	3	3-7	10	-	8	-	28	
3	Актуаторные элементы микросистемной техники	3	8-12	10	-	8	-	12	Рейтинг-контроль №2
4	Микромеханизмы и управляемые компоненты микросистемной техники	3	13-15	6	-	8	-	30	Рейтинг-контроль №3
5	Технологические процессы производства микросистем	3	16-18	6	-	8	-	34	
Всего за 3 семестр:		3	18	36	-	36	-	144	Экзамен (36)
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине		3	18	36	-	36	-	144	Экзамен (36)

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Параметры и характеристики микроэлектромеханических систем:

Тема 1. «Введение, общие положения. Термины, определения, буквенные обозначения параметров и характеристик компонентов микросистем».

Тема 2. «Классификация компонентов микросистем».

Тема 3. «Методы построения электронных средств с использованием компонентов микросистем».

Раздел 2. Сенсорные компоненты микросистемной техники:

Тема 1. «Пьезоэлектрические датчики. Датчики магнитного поля, температуры, давления».

Тема 2. «Сенсоры угловых скоростей. Микроэлектромеханический гироскоп LL-типа, RR-типа».

Тема 3. «Сенсоры линейных ускорений. Микромеханические акселерометры L-типа, R-типа. Маятниковый и осевой акселерометр».

Раздел 3. Актуаторные элементы микросистемной техники:

Тема 1. «Микромеханические ключи. Интегральные микрозеркала. Устройство DLP».

Тема 2. «Электростатические микродвигатели. Пьезоэлектрические микродвигатели».

Тема 3. «Методы химического диспергирования. Схемы с участием лазерных источников».

Тема 4. «Индуктивные элементы микросистем. Спиральные индукторы. Соленоидные индукторы».

Раздел 4. Микромеханизмы и управляемые компоненты микросистемной техники:

Тема 1. «Управляемые микроэлектрорадиокомпоненты, оптоэлектромеханические микрокомпоненты».

Тема 2. «Микроустройства обработки, хранения и записи информации».

Тема 3. «Микросистемы для генерации и преобразования энергии и движения».

Тема 4. «Микросистемы хранения и рекуперации энергии».

Раздел 5. Технологические процессы производства микроэлектромеханических систем:

Тема 1. «Основные операции производства микроэлектроники».

Тема 2. «Микролитография».

Тема 3. «Объёмная и поверхностная микротехнология».

Тема 4. «LIGA процесс, бондинг процесс».

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Раздел 1. «Исследование характеристик тензорезистивного датчика давления и датчика температуры».

Раздел 2. «Исследование характеристик датчиков магнитного поля».

Раздел 3. «Исследование характеристик датчиков ускорений».

Раздел 4. «Исследование характеристик датчиков угловых скоростей».

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. Классификация сенсоров по назначению, физико-химическим принципам действия, основным характеристикам и техническому назначению.
2. Тензорезистивный мост и принцип работы сенсора давления на его основе. Сдвиговый тензорезистивный эффект.
3. Пьезоэлектрические датчики.
4. Датчики температуры.
5. Датчики давления.
6. Датчики магнитного поля.
7. Микромеханические акселерометры L-типа, R-типа.
8. Маятниковый и осевой акселерометр.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2

1. Гироскопы: виды, конструкция, принцип действия и применение.
2. Микроэлектромеханический гироскоп LL-типа, RR-типа.
3. Устройства матрицы микрозеркал и принцип её работы.
4. Конструкция и принцип действия детекторов теплового излучения.
5. Эффект Холла и его применение в сенсорах магнитного поля. Принцип действия магнитодиодов и магнитотранзисторов.
6. Классические и микроминиатюрные термоанемометры, их конструкции и принципы действия.

7. Микрофазовращатели: разновидности и ограничения. Элементы линий передач в микросистемах, их разновидности и предназначение.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3

1. Управляемые оптоэлектромеханические микрокомпоненты.
2. Микроустройства обработки, хранения и записи информации.
3. Микросистемы для генерации и преобразования энергии и движения.
4. Микросистемы хранения и рекуперации энергии.
5. Кремний. Монокристаллический и поликристаллический кремний. Кремний p- и n- типа.
6. Основные технологические процессы микроэлектроники.
7. Фотолитография, ее физические ограничения. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
8. Специальные технологии получения сенсоров.
9. Объёмная микротехнология.
10. Поверхностная микротехнология.

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

Примерный перечень вопросов

1. Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах.
2. Применение компонентов микросистем в автомобильной технике, в области медицины, в бытовой технике.
3. Классификация компонентов микросистем.
4. Классификация сенсоров по назначению, физико-химическим принципам действия, основным характеристикам и техническому назначению.
5. Тензорезистивный мост и принцип работы сенсора давления на его основе. Сдвиговой тензорезистивный эффект.
6. Эффект Холла и его применение в сенсорах магнитного поля. Эффект магнитного сопротивления. Принцип действия магнитодиодов и магнитотранзисторов.
7. Сенсор давления на сдвиговом тензорезистивном эффекте.
8. Сенсоры температуры: основные виды, принципы действия, метрологические характеристики, применение.
9. Емкостной принцип преобразования. Чувствительность емкостных сенсоров давления.
10. Акселерометры: виды, конструкция, принцип действия и применение.
11. Основные характеристики микромеханических акселерометров.
12. Гироскопы: виды, конструкция, принцип действия и применение.
13. Основные характеристики микромеханических гироскопов.
14. Пьезоэлектрические сенсоры. Физика работы, конструкция, материалы.
15. Сенсоры термического сигнала. Электронные термометры.
16. Сенсоры ядерного излучения. Детекторы ядерного излучения.
17. Химические сенсоры. Газовый сенсор на основе двуокиси олова.
18. Актюаторные элементы и основы их работы.
19. Устройства матрицы микрозеркал и принцип её работы.
20. Принцип действия и конструкция датчиков давления.
21. Принцип действия и конструкция пирометров.
22. Принцип действия и конструкция микромеханических микрофонов.
23. Микромагнитные электромеханические системы.
24. Системы автоматизированного проектирования компонентов микросистем.
25. Кремний. Монокристаллический и поликристаллический кремний. Кремний p- и n- типа.
26. Основные операции производства микросистем.
27. Микролитография.

28. Объёмная и микротехнология.
29. Поверхностная микротехнология.
30. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
31. Бондинг процесс.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Компоненты микросистемной техники» 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 курсовых работ по дисциплине и на экзамене.

Вопросы к самостоятельной работе студента

1. Принципы миниатюризации технических систем.
2. Детекторы теплового излучения, их классификация и применение. Конструкция и принцип действия детекторов теплового излучения.
3. Классические и микроминиатюрные термоанометры, их конструкции и принципы действия.
4. Детекторы изменения скорости потока газа: физический принцип работы. Ультразвуковые и электромагнитные расходомеры.
5. Микрофазовращатели: разновидности и ограничения. Элементы линий передач в микросистемах, их разновидности и предназначение.
6. Источники электрической энергии для компонентов микросистем на основе преобразования энергии излучения.
7. Химические источники электрической энергии для компонентов микросистем. Ионно-литиевые батареи. Топливные элементы.
8. Тенденции развития источников питания автономных МЭМС.
9. Кремниевая технология. Процессы нанесения и удаления слоев в кремниевой технологии.
10. Совместимость технологии микросистемной техники с технологией микроэлектроники.
11. Изготовление кремниевых пластин для интегральных схем.
12. Окисление кремния. Свойства двуокиси кремния.
13. Металлизация в технологии изготовления интегральных схем.
14. Технология соединения элементов конструкции микросхем.
15. Основы процесса газовой эпитаксии.
16. Основы процесса молекулярно-лучевой эпитаксии.
17. Основы процесса термического окисления.
18. Основы процесса термической диффузии.
19. Основы процесса ионной имплантации.
20. Основы процесса плазмохимического травления.
21. Основы процесса вакуумного напыления.

22. Основы процесса осаждения из газовой фазы
23. Фотолитография, ее физические ограничения.
24. Электронно-лучевая литография, изготовление фотошаблонов.
25. Измерения и испытания компонентов микросистем.

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		
Родионов, Ю.А. Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике : учеб. пособие / Ю.А. Родионов. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 352 с. - ISBN 978-5-9729-0337-5.	2019	https://znanium.com/catalog/product/1053392
Меркурьев И., Подалков В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. – Litres, 2022.	2022	https://books.google.ru/books?id=Qtp3CwAAQBAJ&lpq=PA77&ots=gjXNJmtbro&dq
Топильский В.Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Топильский В.Б.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 494 с.	2015	https://www.iprbookshop.ru/26009.html
Дополнительная литература		
Нарайкин О. С. Введение в микросистемную технику : учеб. Пособие / О. С. Нарайкин, К. Г. Потловский, В. В. Холевин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011	2011	https://www.iprbookshop.ru/30927.html
Вольт-амперные характеристики пористых пленок ЦТС / Ю. В. Подгорный [и др.] // Нано- и микросистемная техника .— Б.м. — 2014 .— № 9 .— С. 3-11	2014	https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22006306

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.);
3. Нано- и микросистемная техника. – научн. журнал./ Гл. ред. Мальцев П. П. – Москва: ООО Издательство «Новые технологии» (1999-2021).

6.3. Интернет-ресурсы

1. Онлайн курс «Design and Fabrication of Microelectromechanical Devices» (Massachusetts Institute of Technology – MIT): <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-777j-design-and-fabrication-of-microelectromechanical-devices-spring-2007/lecture-notes/>.
2. Конспект лекций «Компоненты микросистем» (Сибирский федеральный университет): http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/115/u_lectures.pdf.

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

С.И. Абрахин

(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 _____