

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 2022г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«СЕНСОРНЫЕ МИКРОСИСТЕМЫ»

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

Задачи:

- изучение физических принципов функционирования микро и наноэлектронных сенсорных микросистем;
- изучение основных технических характеристик микроэлектронных микросистем и областей их применения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Сенсорные микросистемы» относится обязательным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений.

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	<p>ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>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.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследований.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – принципы построения и функционирования изделий нанотехнологии и микросистемной техники; – мировые достижения в области разработки микро- и наноразмерных электромеханических систем <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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 микросистемной техники, анализировать их результаты	<p>ПК-2.1. Знает структуру методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>ПК-2.2. Умеет анализировать результаты исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники.</p> <p>ПК-2.3. Владеет навыками разработки методик проведения исследований и измерений.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – структуру методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализировать результаты исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками разработки методик проведения исследований и измерений. 	Тестовые вопросы Ситуационные задачи Практико-ориентированное задание

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	Параметры и характеристики микроэлектромеханических систем	3	1-6	4	-	5	-	31	Рейтинг-контроль №1
2	Сенсорные компоненты микросистем	3	6-7	14	-	20	-	32	
3	Детекторы присутствия и движения объектов	3	8-10	8	-	5	-	38	Рейтинг-контроль №2
4	Технологические процессы производства микроэлектромеханических систем	3	11-18	10	-	6	-	43	Рейтинг-контроль №3
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. «Виды микросистем. Классификация микросистем. Области применения микросистем».

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

Раздел 2. Сенсорные компоненты микросистем:

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».

Тема 4. «Аналого-цифровые преобразователи».

Тема 5. «Основные принципы конструирования и моделирования микросистем».

Раздел 3. Детекторы присутствия и движения объектов:

Тема 1. «Ультразвуковые, емкостные датчики присутствия».

Тема 2. «Микроволновые детекторы движения».

Тема 3. «Электростатические датчики движения».

Тема 4. «Оптоэлектронные детекторы движения. Структуры датчиков».

Тема 5. «Датчики со сложной формой чувствительного элемента».

Тема 6. «Детекторы движения, работающие в видимом, ближнем ИК диапазонах спектра и дальнем ИК диапазоне».

Раздел 4. Технологические процессы производства микроэлектромеханических систем:

Тема 1. «Основные принципы организации современного производства микросистем».

Тема 2. «Материалы для изготовления микросистем. Кремний, как материал для микросистем».

Тема 3. «Основные операции производства микроэлектроники».

Тема 4. «Микролитография».

Тема 5. «Объёмная и поверхностная микротехнология».

Тема 6. «LIGA процесс, бондинг процесс».

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Тема 1. «Исследование характеристик тензорезистивного датчика давления и датчика температуры.

Тема 2. «Исследование характеристик датчиков магнитного поля».

Тема 3. «Исследование характеристик датчиков ускорений».

Тема 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. Конструкция и принцип действия детекторов теплового излучения.

4. Эффект Холла и его применение в сенсорах магнитного поля. Принцип действия магнитодиодов и магнитотранзисторов.

5. Аналого-цифровые преобразователи.

6. Детекторы движения.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3

1. Кремний. Монокристаллический и поликристаллический кремний. Кремний p- и n-типа.

2. Основные технологические процессы микроэлектроники.

3. Фотолитография, ее физические ограничения. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.

4. Специальные технологии получения сенсоров.

5. Объёмная микротехнология.

6. Поверхностная микротехнология.

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

Примерный перечень вопросов

1. Основные понятия и определения микросистем.

2. Применение компонентов микросистем в автомобильной технике, в области медицины, в бытовой технике.

3. Классификация сенсорных микросистем.

4. Тензорезистивный мост и принцип работы сенсора давления на его основе. Сдвиговый тензорезистивный эффект.

5. Эффект Холла и его применение в сенсорах магнитного поля. Эффект магнитного сопротивления. Принцип действия магнитодиодов и магнитотранзисторов.

6. Сенсор давления на сдвиговом тензорезистивном эффекте.
7. Сенсоры температуры: основные виды, принципы действия, метрологические характеристики, применение.
8. Емкостной принцип преобразования. Чувствительность емкостных сенсоров давления.
9. Акселерометры: виды, конструкция, принцип действия и применение.
10. Основные характеристики микромеханических акселерометров.
11. Гироскопы: виды, конструкция, принцип действия и применение.
12. Основные характеристики микромеханических гироскопов.
13. Пьезоэлектрические сенсоры. Физика работы, конструкция, материалы.
14. Сенсоры термического сигнала. Электронные термометры.
15. Сенсоры ядерного излучения. Детекторы ядерного излучения
16. Химические сенсоры. Газовый сенсор на основе двуокиси олова.
17. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.
18. Детекторы присутствия и движения объектов.
19. Принцип действия и конструкция датчиков давления.
20. Принцип действия и конструкция пирометров.
21. Принцип действия и конструкция микромеханических микрофонов.
22. Микромагнитные сенсорных микросистемы.
23. Системы автоматизированного проектирования сенсорных компонентов микросистем.
24. Кремний. Монокристаллический и поликристаллический кремний. Кремний р- и n- типа.
25. Основные операции производства микросистем.
26. Микролитография.
27. Объемная имикротехнология.
28. Поверхностная микротехнология.
29. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
30. 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 термоанемометры, их конструкции и принципы действия.
4. Детекторы изменения скорости потока газа: физический принцип работы. Ультразвуковые и электромагнитные расходомеры.

5. Источники электрической энергии для сенсорных микросистем на основе преобразования энергии излучения.
6. Химические источники электрической энергии для сенсорных микросистем. Ионно-литиевые батареи. Топливные элементы.
7. Кремниевая технология. Процессы нанесения и удаления слоев в кремниевой технологии
8. Изготовление кремниевых пластин для интегральных схем.
9. Окисление кремния. Свойства двуоксида кремния.
10. Металлизация в технологии изготовления интегральных схем.
11. Технология соединения элементов конструкции микросхем.
12. Основы процесса газовой эпитаксии.
13. Основы процесса молекулярно-лучевой эпитаксии.
14. Основы процесса термического окисления.
15. Основы процесса термической диффузии.
16. Основы процесса ионной имплантации.
17. Основы процесса плазмохимического травления
18. Основы процесса вакуумного напыления.
19. Основы процесса осаждения из газовой фазы
20. Фотолитография, ее физические ограничения.
21. Электронно-лучевая литография, изготовление фотошаблонов.
22. Измерения и испытания компонентов микросистем.
23. Самотестирование 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*		
Мухуров Н.И. Электромеханические микроустройства / Мухуров Н.И., Ефремов Г.И.— Минск: Белорусская наука, 2012.— 258 с.	2012	https://www.iprbooks.hop.ru/11516
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.iprbooks.hop.ru/26009.html
Белогуров, Е. А. Физика нано- и микросистем : методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальности 1-38 01 04 "Микро- и наносистемная техника" и 1-41 01 01 "Технология материалов и компонентов электронной техники" / Е. А. Белогуров, В. В. Хатько, Я. И. Шукевич ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра микро- и нанотехники. – Минск : БНТУ, 2011. – 76 с.	2011	https://rep.bntu.by/handle/data/3733
Дополнительная литература		
Нарайкин О.С. Введение в микросистемную технику : учебное пособие / Нарайкин О.С., Потловский К.Г., Холевин В.В.. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2011. — 52 с. — ISBN 2227-8397.	2011	https://www.iprbooks.hop.ru/30927.html
Калачев А.В. Аппаратные и программные решения для беспроводных сенсорных сетей : учебное пособие / Калачев А.В.. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 240 с. — ISBN 978-5-4497-0861-8.	2021	https://www.iprbooks.hop.ru/101991.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. 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/>.

7. 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.

Лабораторные работы проводятся в научных лабораториях, которые оснащены современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением (проектирование и моделирование MEMS устройств - COVENTOR).

Рабочую программу составил доцент кафедры ФиПИМ 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

(ФИО, подпись)

С.И. Абрахин

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 _____