

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

« 03 » 09 2018г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СЕНСОРНЫЕ МИКРОСИСТЕМЫ

(наименование дисциплины)

Направление подготовки: 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль/программа подготовки: "Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии"

Уровень высшего образования: магистратура

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
3	4 ЗЕ / 144 час.	36		18	45	Экзамен (45)
Итого	4 ЗЕ / 144 час.	36		18	45	Экзамен (45)

Владимир 20 18

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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 дисциплины:

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

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Сенсорные микросистемы» относится к дисциплинам по выбору вариативной части ОПОП подготовки магистров по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Дисциплина изучается в 3 семестре и требует освоения следующих курсов:

- физика;
- информатика;
- физические основы микро- и наносистемной техники;
- микроэлектромеханические системы

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены при изучении других специальных дисциплин по профилю подготовки, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины частично формируются следующие компетенции:

- ОПК-4, способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области
- ПК-7, готовностью подготавливать задания на разработку проектных решений на разработку материалов и компонентов нано- и микросистемной техники
- ПК-8, способностью проектировать элементы и приборы нано- и микросистемной техники с использованием типовых пакетов прикладных программ с учётом заданных требований

1) Знать:

- классификацию компонентов сенсорных микросистем (ОПК-4, ПК-7);
- принципы и особенности функционирования микросистем (ПК-7);
- базовые конструкции и основные технические характеристики компонентов сенсорных микросистем (ПК-7);
- технологические процессы производства сенсорных микросистем (ПК-8).

2) Уметь:

- анализировать особенности функционирования компонентов сенсорных микросистем (ОПК-4);
- 3) Владеть:
- навыками работы с отдельными компонентами микросистемной техники (ПК-8);
 - навыками применения компонентов микросистемной техники при создании технических систем различного функционального назначения (ПК-7).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов.

№ п/п	Раздел (тема) 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 (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП/КР			
1	Общие положения	3	1-2	4	-	-	-	10	-	2 / 50%	Рейтинг-контроль №1	
2	Сенсорные компоненты микросистемно й систем	3	3-9	14	-	18	-	11	-	20 / 71,4%		
3	Детекторы присутствия и движения объектов	3	10-13	8	-	-	-	12	-	2 / 25%		Рейтинг-контроль №2
4	Технологическ ие процессы производства сенсорных микросистем	3	14-18	10	-	-	-	12	-	6 / 66%		Рейтинг-контроль №3
Всего		3	18	36	-	18	-	45	-	30/ 55,6%	экзамен (45 час.)	

Темы лекций.

Раздел 1. Параметры и характеристики микроэлектромеханических систем.

1.1. Введение, общие положения. Термины, определения, буквенные обозначения параметров и характеристик компонентов микросистем;

1.2. Виды микросистем. Классификация микросистем. Области применения микросистем;

1.3. Методы построения электронных средств с использование компонентов сенсорных микросистем.

Раздел 2. Сенсорные компоненты микросистем.

2.1 Пьезоэлектрические датчики. Датчики магнитного поля, температуры, давления;

2.2 Сенсоры угловых скоростей. Микроэлектромеханический гироскоп LL-типа, RR-типа;

2.3 Сенсоры линейных ускорений. Микромеханические акселерометры L-типа, R-типа. Маятниковый и осевой акселерометр.

2.4 Аналого-цифровые преобразователи

2.5 Основные принципы конструирования и моделирования микросистем.

Раздел 3. Детекторы присутствия и движения объектов

- 3.1 Ультразвуковые, емкостные датчики присутствия.
- 3.2 Микроволновые детекторы движения.
- 3.3 Электростатические датчики движения.
- 3.4 Оптоэлектронные детекторы движения. Структуры датчиков.
- 3.5 Датчики со сложной формой чувствительного элемента.
- 3.6 Детекторы движения, работающие в видимом, ближнем ИК диапазонах спектра и дальнем ИК диапазоне.

Раздел 4. Технологические процессы производства микроэлектромеханических систем.

- 4.1. Основные принципы организации современного производства микросистем.
- 4.2. Материалы для изготовления микросистем. Кремний, как материал для микросистем.
- 4.3. Основные операции производства микроэлектроники;
- 4.4. Микролитография;
- 4.5. Объёмная и поверхностная микротехнология;
- 4.6. LIGA процесс, бондинг процесс.

Лабораторный практикум.

Л.Р.№1. Исследование характеристик тензорезистивного датчика давления и датчика температуры (2 ч).

Л.Р.№2. Исследование характеристик датчиков магнитного поля (4 ч).

Л.Р.№3. Исследование характеристик датчиков ускорений (6 ч).

Л.Р.№4. Исследование характеристик датчиков угловых скоростей (6 ч).

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках лекционного курса:

5.1. Активные и интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой: (контрольные аудиторские работы, индивидуальные домашние работы).

5.2. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала при подготовке к выполнению индивидуальной домашней работы по практическим занятиям. Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций, решение выданных преподавателем практики задач, подготовка к экзамену.

5.3. Мультимедийные технологии обучения

Некоторые из лекционных и практических занятий проводятся в виде презентаций в мультимедийной аудитории (например, ауд. 430-3) с использованием компьютерного проектора.

5.4. Рейтинговая система обучения

Рейтинг-контроль проводится три раза за семестр. Он предполагает оценку суммарных баллов по следующим составляющим: баллы на контрольных занятиях;

качество выполнения домашних типовых заданий. Распределение баллов по контрольным мероприятиям определяется лектором, ведущим дисциплину.

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

6.1. Экзаменационные вопросы

1. Основные понятия и определения микросистем.
2. Применение компонентов микросистем в автомобильной техники, 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 *p*- и *n*-типа.
25. Основные операции производства микросистем.
26. Микролитография.
27. Объёмная имикротехнология.
28. Поверхностная микротехнология.
29. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
30. Бондинг процесс.

6.2. Вопросы рейтинг-контроля

Рейтинг-контроль № 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.

Рейтинг-контроль № 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.

Рейтинг-контроль № 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.

6.3. Вопросы к самостоятельной работе студента

Самостоятельная работа студентов включает освоение материалов, слабо освещённых в рамках лекционного курса, подготовку к практическим занятиям, подготовку к рейтинг-контролю и экзамену. Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется на лабораторных занятиях. Открытый список вопросов:

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 двуокиси 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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

а) основная литература:

1. Мухуров Н.И. Электромеханические микроустройства / Мухуров Н.И., Ефремов Г.И.— Минск: Белорусская наука, 2012.— 258 с.
2. Топильский В.Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Топильский В.Б.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 494 с.
3. Тимофеев В. Н. Техническая механика микросистем: учебное пособие / В.Н. Тимофеев [и др.]. - 4-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ, 2015. - ISBN 978-5-9963-3001-0..

б) дополнительная литература:

1. 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
2. Меркурьев И.В., Подалков В.В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 228 с. - ISBN 978-5-9221-1125-6
3. Янчич В.В. Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры) [Электронный ресурс]: монография/ Янчич В.В.— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2010.— 304 с.

в) периодические издания:

1. Нано- и микросистемная техника, ISSN 1684-6419

г) интернет-ресурсы:

1. Нано- и микросистемная техника: <http://www.microsystems.ru>
2. 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/>
3. Конспект лекций «Компоненты микросистем» (Сибирский федеральный университет): http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/115/u_lectures.pdf

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- кафедральные мультимедийные средства (ауд. 430-3);
- электронные записи лекций;
- компьютеры со специализированным программным обеспечением (проектирование и моделирование MEMS устройств - COVENTOR).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочую программу составил доцент каф. ФиПМ Золотов А.Н.
(ФИО, подпись)

Рецензент
(представитель работодателя) Каз. Кесенов-2 ФКП "Т/МТ Осерма" Жаппов
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ
Протокол № 1 от 03.09.18 года
Заведующий кафедрой _____
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 28.04.01
Протокол № 1 от 03.09.18 года
Председатель комиссии _____
(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 _____
