

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УМР

А.А.Панфилов

« 20 / 15 »

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**КОМПОНЕНТЫ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ**  
(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	54	Экзамен (36)
Итого	4 ЗЕ / 144 час.	36		18	54	Экзамен (36)

Владимир 2015

## 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 дисциплины:**

- 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 «Компоненты микросистемной техники» 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;
- микроелектромеханические 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

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

### 2) Уметь:

- анализировать особенности функционирования компонентов микросистемной техники (ОПК-4);

- использовать программное обеспечение для разработки и моделирование устройств на основе микросистем (ПК-8).

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

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	-	-	-	4	-	2 / 50%	Рейтинг-контроль №1
3	Сенсорные компоненты микросистемной техники	3	3-7	10	-	18	-	28	-	20 / 71,4%	
4	Актуаторные элементы микросистемной техники	3	8-12	10	-	-	-	8	-	4 / 40%	
8	Микромеханизмы и управляемые компоненты микросистемной техники	3	13-15	6	-	-	-	8	-	4 / 66,6%	Рейтинг-контроль №3
5	Технологические процессы производства микросистем	3	16-18	6	-	-	-	6	-	4 / 66,64%	
<b>Всего</b>		<b>3</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>54</b>	<b>-</b>	<b>34 / 62,9%</b>	<b>экзамен (36 час.)</b>

#### 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. Классификация компонентов микросистем;

1.3. Методы построения электронных средств с использованием компонентов микросистем.

##### Раздел 2. Сенсорные компоненты микросистемной техники.

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.

##### Раздел 3. Актуаторные элементы микросистемной техники.

- 3.1 Микромеханические ключи. Интегральные микрзеркала. Устройство DLP;
- 3.2 Электростатические микродвигатели. Пьезоэлектрические микродвигатели;
- 3.3 Индуктивные элементы микросистем. Спиральные индукторы. Соленоидные индукторы.

#### **Раздел 4. Микромеханизмы и управляемые компоненты микросистемной техники.**

- 4.1. Управляемые микроэлектрорадиокомпоненты, оптоэлектромеханические микрокомпоненты;
- 4.2. Микроустройства обработки, хранения и записи информации;
- 4.3. Микросистемы для генерации и преобразования энергии и движения;
- 4.4. Микросистемы хранения и рекуперации энергии.

#### **Раздел 5. Технологические процессы производства микроэлектромеханических систем.**

- 5.1. Основные операции производства микроэлектроники;
- 5.2. Микролитография;
- 5.3. Объёмная и поверхностная микротехнология;
- 5.4. 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**

Текущий контроль успеваемости проводится по всем видам занятий с использованием балльно-рейтинговой системы.

### **6.1 . Экзаменационные вопросы**

1. Основные понятия и определения микросистем.
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. Сдвиговый 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 микрзеркал 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 имикротехнология.
29. Поверхностная микротехнология.

30. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
31. 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. 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.

### **Рейтинг-контроль № 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.

## **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. 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 двуоксида 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.
26. Само тестирование компонентов микросистем.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **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.
4. Распопов В.Я. Микромеханические приборы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Распопов В.Я.— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2007.— 400 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](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/115/u_lectures.pdf)

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**


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)

  
м. спец. научно-технат отдела РКП "ГАП Рязань"  
(место работы, должность, ФИО, подпись)  
Жуков А.А.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры



Протокол № 2А от 13.10.15 года

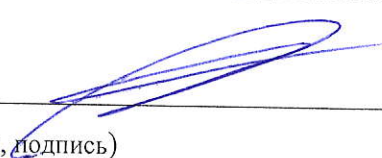
Заведующий кафедрой

(ФИО, подпись)

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

Протокол № 2А от 13.10.15 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 \_\_\_\_\_