

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

« 21 » 08 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Компоненты микросистемной техники»

(наименование дисциплины)

Направление подготовки: 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

Профиль/программа подготовки: «Инженерно-физические технологии в
наноиндустрии»

Уровень высшего образования: магистратура

Форма обучения очная

| Семестр | Трудоемкость (зач. ед./ час) | Лекции, (час) | Практич. занятия, (час) | Лаборат. работы, (час) | СРС (час) | Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой) |
|---------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|--|
| 3 | 7/252 | 36 | - | 36 | 144 | Экзамен(36ч) |
| Итого | 7/252 | 36 | - | 36 | 144 | Экзамен(36ч) |

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины - 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 наноэлектронных компонентов микросистем;
- изучение основных технических характеристик микроэлектронных компонентов микросистем и областей их применения;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Компоненты микросистемной техники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Программа предназначена для подготовки магистров по направлению 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Курс читается в 3 семестре.

Пререквизиты дисциплины: базовые курсы общей физики и информатики, а также курсы «физические основы микро- и наносистемной техники» и «микроэлектромеханические системы».

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

| Код формируемых компетенций | Уровень освоения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции) |
|-----------------------------|------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| ПК-1 | <i>частичное освоение</i> | <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. |

| | | |
|-------------|---------------------------|---|
| ПК-2 | <i>частичное освоение</i> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> – структуру методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники; – методы контроля базовых технологических процессов производства микро- и наноразмерных электромеханических систем; <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. |
|-------------|---------------------------|---|

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) | | | | Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %) | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) | |
|-------|--|---------|-----------------|--|----------------------|--------------|-----|---|---|---------------------|
| | | | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные | СРС | | | |
| 1 | Общие положения | 3 | 1-2 | 4 | - | - | 40 | 2/50% | Рейтинг-контроль №1 | |
| 2 | Сенсорные компоненты микросистемной техники | 3 | 3-7 | 10 | - | 36 | 28 | 23/50% | | |
| 3 | Актуаторные элементы микросистемной техники | 3 | 8-12 | 10 | - | - | 12 | 4/40% | | Рейтинг-контроль №2 |
| 4 | Микромеханизмы и управляемые компоненты микросистемной техники | 3 | 13-15 | 6 | - | - | 40 | 3/50% | | Рейтинг-контроль №3 |
| 5 | Технологические | 3 | 16-18 | 6 | - | - | 44 | 3/50% | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|----|----|---|----|---------|-------|--------------|
| процессы производства микросистем | | | | | | | | |
| Наличие в дисциплине КП/КР | | | | | | | | |
| Итого по дисциплине | 3 | 18 | 36 | - | 36 | 14 4 | 3/48% | Экзамен(36ч) |

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

Тема 1. «Исследование принципов работы микрозеркал на основе DLP матрицы».

Тема 2. «Исследование принципов построения микрооптоэлектронных цифроаналоговых преобразователей».

Тема 3. «Исследование принципов построение микрооптоэлектронных аналого-цифровых преобразователей».

Тема 4. «Исследование характеристик датчиков ускорений».

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «компоненты микросистемной техники» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (Раздел 1. Тема №3);*
- *Групповая дискуссия (Раздел 2. Тема №2);*
- *Ролевые игры (Раздел 5. Тема №2);*
- *Тренинг (Раздел 4. Тема №2);*
- *Анализ ситуаций (Раздел 2. Тема №3);*
- *Применение имитационных моделей (Раздел 3. Тема № 3);*
- *Разбор конкретных ситуаций (Раздел 3. Тема №2);*
- *Другое.*

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

а) Вопросы для экзамена

1. Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах.
2. Применение компонентов микросистем в автомобильной техники, 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. Актуаторные 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 р- и п-типа.
26. Основные операции производства микросистем.
27. Микролитография.
28. Объёмная и микротехнология.
29. Поверхностная микротехнология.
30. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
31. Бондинг процесс.

б) Вопросы рейтинг-контроля

Вопросы рейтинг-контроля №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.

Вопросы рейтинг-контроля №2:

1. Гироскопы: виды, конструкция, принцип действия и применение.
2. Микроэлектромеханический гироскоп LL-типа, RR-типа.
3. Устройства матрицы микрзеркал 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.

Вопросы рейтинг-контроля №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 р- и n-типа.
6. Основные технологические процессы микроэлектроники.
7. Фотолитография, ее физические ограничения. Рентгеновская литография и LIGA-процесс.
8. Специальные технологии получения сенсоров.
9. Объемная микротехнология.
10. Поверхностная микротехнология.

в) 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. 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 средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Книгообеспеченность

| Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство | Год издания | КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ | |
|--|-------------|---|--|
| | | Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО | Наличие в электронной библиотеке ВлГУ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Основная литература* | | | |
| Техническая механика микросистем : учебное пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника" по специальностям 210108 "Микросистемная техника" и 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / В. Н. Тимофеев [и др.] ; под ред. В. Н. Тимофеева .— Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2009 .— 176 с. : ил. — Библиогр.: с. 173-174 .— ISBN 978-5-94774-907-6. | 2009 | 3 | Отдел (коллекция): W301 Инвентарный номер: 556498, 556499, 556500 Полочный индекс и Авторский знак: 621.382 T382 |
| Меркурьев, Игорь Владимирович. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов / И. В. Меркурьев, В. В. Подалков .— Москва : Физматлит, 2009 .— 226 с. : ил. — Библиогр.: с. 217-226 .— ISBN 978-5-9221-1125-6. | 2009 | 1 | Отдел (коллекция): W105 Инвентарный номер: 552418. Полочный индекс и Авторский знак: 531 M523 |
| Топильский В.Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Топильский В.Б.— | 2015 | - | https://www.iprbookshop.ru/26009.html |

Рабочую программу составил

Доцент, к.т.н. Золотов А.Н. Золотов
(ФИО, подпись)

Рецензент
(председатель работодателя)

Ген. директор ООО «ВладИнТех» А.В. Осипов
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Протокол №1 от 31.08.2020 года
Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян
(ФИО, подпись)

ФинИИ

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической
комиссии направления
Протокол №1 от 31.08.2020 года
Председатель комиссии

28.04.01

С.М. Аракелян
(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 _____