

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

« 28 » 08 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Сенсорные микросистемы»

(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), КР |
| Итого | 7 / 252 | 36 | - | 36 | 144 | Экзамен (36ч), КР |

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины - 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 нанoeлектронных сенсорных микросистем;
- изучение основных технических характеристик микроэлектронных микросистем и областей их применения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Сенсорные микросистемы» относится 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: общая физика, информатика, физические основы микро- и наносистемной техники.

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; <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 работы | СРС | | |
| 1 | Параметры и характеристики микроэлектромеханических систем | 3 | 1-6 | 4 | - | 5 | 31 | 7/77 | Рейтинг-контроль №1 |
| 2 | Сенсорные компоненты микросистем | 3 | 6-7 | 14 | - | 20 | 32 | 10/29 | |
| 3 | Детекторы присутствия и движения объектов | 3 | 8-10 | 8 | - | 5 | 38 | 5/38 | Рейтинг-контроль №2 |
| 4 | Технологические процессы производства микроэлектромеханических систем | 3 | 11-18 | 10 | - | 6 | 43 | 5/31 | Рейтинг-контроль №3 |
| Наличие в дисциплине КП/КР | | | | | | | | | |
| Итого по дисциплине | | 3 | 18 | 36 | - | 36 | 144 | 27/37 | 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. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Сенсорные микросистемы» 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 4. Тема №2);*
- *Тренинг (Раздел 2. Тема №5);*
- *Анализ ситуаций (Раздел 1. Тема №2);*
- *Применение имитационных моделей (Раздел 3. Тема № 3);*
- *Разбор конкретных ситуаций (Раздел 2. Тема №1);*
- *Другое.*

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

а) Экзаменационные вопросы

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

Вопросы рейтинг-контроля №3:

1. Кремний. Монокристаллический и поликристаллический кремний. Кремний р- 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.

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. 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.

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 | 2009 | 3 | Библиотека ВлГУ: Отдел (коллекция): W301 Инвентарный номер: 556498, 556499, 556500 |

| | | | | |
|--|------|--|---|--|
| 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. | | | | Полочный индекс и Авторский знак: 621.382 Т382 |
| Мухуров Н.И. Электромеханические микроустройства / Мухуров Н.И., Ефремов Г.И.— Минск: Белорусская наука, 2012.— 258 с. | 2012 | | - | Ресурс доступа: доступ к ресурсам осуществляется по общему логину - vlsu и паролю ckfeF2Wd https://www.iprbookshop.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. | | | | Ресурс доступа: доступ к ресурсам осуществляется по общему логину - vlsu и паролю ckfeF2Wd https://www.iprbookshop.ru/26009.ht ml |
| 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. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/30927.html (дата обращения: 04.04.2021). | 2011 | | - | Ресурс доступа: доступ к ресурсам осуществляется по общему логину - vlsu и паролю ckfeF2Wd https://www.iprbookshop.ru/30927.ht ml |
| 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. — Текст : электронный // Электронно- библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/101991.html (дата обращения: 04.04.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей | 2021 | | - | Ресурс доступа: доступ к ресурсам осуществляется по общему логину - vlsu и паролю ckfeF2Wd https://www.iprbookshop.ru/101991. html |

7.2. 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).

7.3. 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/>.

8. 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, к.т.н. Золотов А.Н. Алюф
(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)

ФипМ

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 _____