

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Зарок
« 4 » *сентября* 2020

Регистрационный № УД-7664/уч.



СЕНСОРИКА И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 20 Прикладная физика

Профилизация: Физическая информатика

2020 г.

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

_____ О.Н.Здрок

«__» _____ 20__ г.

Регистрационный № УД-_____ /уч.

СЕНСОРИКА И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 20 Прикладная физика

Профилизация: Физическая информатика

2020 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 20 -2019 и учебного плана № G-31-096/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.В. Леонтьев, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

РЕЦЕНЗЕНТ

С.М.Сацук, заведующий кафедрой электроники факультета радиотехники и электроники БГУИР, кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета (протокол № 5 от 20.12. 2019 г.);

Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 03.01.2020 г.)

Заведующий кафедрой физической электроники нанотехнологий

В.М.Борздов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель учебной дисциплины – формирование у студентов систематизированных знаний и навыков в области физико-химических основ сенсорики, современных интеллектуальных умных систем, технологий изготовления МЭМС и МОЭМС, миниатюрных датчиков, а также выработке практических навыков решения прикладных задач в данной области.

Задачи учебной дисциплины:

- ознакомиться с физико-химическими явлениями, лежащими в основе различных интеллектуальных сенсорных систем;
- получение магистрантами знаний о физико-химических принципах функционирования, микро-электромеханических (МЭМС) и микро-электро-оптических систем (МОЭМС) а также основных принципов и технологий их изготовления;
- ознакомиться с аппаратными платформами Arduino и NodeMCU.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина является компонентом учреждения высшего образования и относится к модулю «Физика обработки, хранения и передачи информации».

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Материал курса опирается на сведения, полученные ранее при освоении учебных дисциплин компонента учреждения высшего образования: «Общая физика», «Математический анализ», «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», «Материалы электронной техники», «Квантовая радиофизика», «Материалы опто-, микро- и нанoeлектроники».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Сенсорика и микросистемная техника» должно обеспечить формирование следующих специализированных компетенций.

СК-5. Владеть методами прецизионного контроля разрабатываемых сенсорных систем, построение и изготовление схем их температурной стабилизации.

СК-6. Владеть методами и технологиями преобразования физико-химических объектов наблюдения в информацию, знать физические основы работы интеллектуальных датчиков.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные физические и химические явления, на основе которых разрабатываются современные сенсоры;
- принципы функционирования сенсорных систем;
- принципы функционирования аппаратных платформ Arduino и NodeMCU;
- основных производителей современных сенсорных систем;

уметь:

- правильно выбрать необходимый набор сенсорных структур для анализа заданных параметров окружающей среды;
- проводить калибровку и тестирование готовых сенсорных структур;
- программировать в аппаратной среде Arduino;

владеть:

- методиками прецизионного контроля параметров разрабатываемых сенсорных систем, построением и изготовлением схем их температурной стабилизации;
- навыками прототипирования устройств удаленного доступа к датчикам.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Сенсорика и микросистемная техника» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 30 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1 . Сенсоры и информационные технологии.

Введение. Сенсоры и информационные технологии. Аппаратная платформа Arduino. Основные характеристики сенсоров. Сенсоры и нанотехнологии.

Тема 2. Аппаратная платформа Arduino.

Основные понятия. Начало работы с Arduino в Windows. Работа с Arduino Mini. Аналоговые входы и цифровые выходы. Широтно-импульсная модуляция. Память в Arduino. Создание библиотек для Arduino. Преимущества и недостатки Arduino, альтернативные платформы.

Тема 3. Микросистемы. МЭМС и МОЭМС.

1D, 2D и 3D микросистемы. Понятия **МЭМС** и **МОЭМС**. Материалы и технологии изготовления микросистем. Объемная, поверхностная и LIGA-технологии. Чувствительные элементы для микросистем.

Тема 4. Высокочастотные элементы МЭМС.

Высокочастотные микропереключатели и микрореле. Конденсаторы и катушки индуктивности в микросистемах. Высокочастотные микрофильтры. Микрофазовращатели.

Тема 5. Линии передач в микросистемах и их компонентах.

Линии передач в микросистемах. Смесители в микросистемах. Разработка компонентов ВЧ-микросистем. Изготовление компонентов микросистем. Определение характеристик компонентов микросистем.

Тема 6. Микроантенны.

Обзор микрополосковых антенн и процесс их изготовления. Микроантенны с переменной конфигурацией. Способы улучшения характеристик микроантенн.

Тема 7. Датчики на основе полупроводниковых материалов.

Контактные датчики температуры. Тензорезистивные датчики давления. Акселерометры и гироскопы. Газовые датчики. Химические микросенсоры.

Тема 8. Датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Резонансные датчики на ПАВ. Датчики массы, газовые сенсоры и датчики влажности. Датчики температуры, деформации и магнитного поля.

Тема 9. Тепловизионные системы.

Основные элементы тепловизора, оптика и приемные матрицы. Параметры современных тепловизоров и их производители. Мини-тепловизоры (Seek Thermal, FLIR ONE) для смартфонов и их возможности.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сенсоры и информационные технологии.	2						Аудиторный опрос
2	Аппаратная платформа Arduino.	2			12			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам
3.	Микросистемы. МЭМС и МОЭМС.	2			4			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам.
4.	Высокочастотные элементы МЭМС.	2						Аудиторный опрос Презентации по рефератам.
5.	Линии передач в микросистемах и их компонентах.	2						Аудиторный опрос Презентации по рефератам.
6.	Микроантенны.	2						Аудиторный опрос. Презентации по рефератам
7.	Датчики на основе полупрово-дниковых материалов.	2			8			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам.
8.	Датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ)	2						Аудиторный опрос. Презентации по рефератам
9.	Тепловизионные системы.	2			6			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. *Радионов Ю.А.* Микроэлектронные датчики и сенсорные устройства. Учебное пособие./Изд-во БГУИР.2019. 300 с.
2. *Петин В.А.* Проекты с использованием контроллера Arduino./ СПб.;БХВ-Петербург.2019. 496 с.
3. *Архипов А.М.* Датчики Reescale Semiconductor/ Архипов А.М., Иванов В.С., Панфилов Д.И. М.;ДМК Пресс. 2016. 184 с.
4. *Шебалкова Л.В.* Микроволновые и ультразвуковые сенсоры. Учебное пособие /Шебалкова Л.В., Легкий В.Н., Ромодин В.Б. Из-во НГТУ. 2015. 172 с
5. *Вардан, В.* ВЧ МЭМС и их применение / В. Вардан, К. Виной, К. Джозе. М.: Техносфера, 2004. 525 с.
6. *Уорден, К.* Новые интеллектуальные материалы и конструкции / М.: Техносфера, 2006. 224 с.
7. *Банника Ф.-Г.* Химические и биологические сенсоры: основы и применения /При поддержке ОАО «Авангард», перевод с англ. под ред. д.т.н., проф. В.А. Шубарева. Редактор-консультант проф. А. Дж. Фогг. Москва: Техносфера, 2014. –880 с

Перечень дополнительной литературы

1. *Уорден, К.* Интеллектуальные материалы / М.: Техносфера, 2004. 448 с.
2. *Шарапов В.М.* Датчики /Шарапов В.М., Полищук Е.С., Кошевой Н.Д. М.:Техносфера. 2013. 625 с.
2. *Пул, Ч.* Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. М.: Техносфера, 2004. 336 с.
3. *Неволин В. К.* Зондовые нанотехнологии в электронике / 2-е изд., испр. и дополненное. М.: Техносфера, 2006. 160 с.
4. *Джэксон, Р. Г.* Новейшие датчики / М.:Техносфера, 2007, 380 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется в соответствии со следующими документами:

1. «Об утверждении правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования». Постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29 мая 2012 г. № 53.

2. «Положение о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете». Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД.

3. «Критерии оценки знаний и компетенций студентов по десятибалльной шкале». Письмо Министерства образования Республики Беларусь №09-10/53-ПО от 28.05.2013г.

Формой текущей аттестации по дисциплине учебным планом предусмотрен зачет.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется опрос по материалам лекций, защита лабораторных работ, защита реферативных работ, устные вопросы и обмен мнениями, идеями по отдельным темам (метод учебной дискуссии).

Оценка за ответы на лекциях (опрос) включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики, участие в дискуссии и т.д.

Контроль выполнения лабораторных работ осуществляется путем рассмотрения отчета по каждой выполненной лабораторной работе.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на лекциях (опрос) – 20 %;
- выполнение лабораторных работ – 40 %;
- презентация по реферату – 40 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 60%, экзаменационной оценки – 40 %.

Примерный перечень лабораторных занятий

1. Термическое окисление кремния и эллипсометрический контроль толщины по четырехзонной схеме измерения.
2. Многоугольная эллипсометрия по четырехзонной схеме измерения.
3. Калибровка pH-метров с помощью стандартных растворов.
4. Аппаратная платформа Arduino, цифровые и аналоговые порты подключения датчиков.
5. Определение pH проявителей позитивных фоторезистов.
Аппаратная платформа NodeMCU для прототипирования устройств удаленного доступа к датчикам.

6. Датчики и модули расширения для аппаратной платформы Arduino и NodeMCU.
7. Изучение датчиков газа серии MQ.
8. Калибровка термопар.
9. Измерение импеданса емкостных датчиков.
10. Определения скрытых электрических полей и пустот в массивных объектах с помощью прибора BOSCH DMF 10 Zoom.
11. Изучение принципа функционирования и интерфейса тепловизионной системы AGEMA.
12. Калибровка тепловизионной системы AGEMA.
13. Определение распределения тепловых полей микрообъектов с помощью тепловизионной системы AGEMA.
14. Определение распределения тепловых полей удаленных макрообъектов с помощью тепловизионной системы AGEMA.

**Описание инновационных подходов и методов к преподаванию
учебной дисциплины (эвристический, проективный,
практико-ориентированный)**

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

**Методические рекомендации по организации самостоятельной работы
обучающихся, кроме подготовки к экзамену, подготовка к зачету**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы: – поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса.

Реферат должен содержать следующие обязательные разделы:

- постановка задачи или проблемы и пути ее решения;

- историю исследования со ссылками на литературные источники;
- современное состояние проблемы;
- выводы.

По содержанию реферата должна быть

- подготовлена презентация для публичной защиты;
- подготовлены вопросы к аудитории по представленному материалу для выяснения усвоения основных положений доклада.

Примерные темы реферативных работ

1. Технологии изготовления МЭМС и МОЭМС.
2. Классификация программно-аппаратных платформ.
3. Платформа Arduino: основные достоинства и недостатки.
4. Высокочастотные и сверхвысокочастотные ключи.
5. Фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ).
6. Микроволноводы в МЭМС и МОЭМС.
7. Резонансные сенсоры.
8. Химические микросенсоры.
9. Датчики ионизирующего излучения.
10. Оптоволоконные сенсоры. Механизмы регистрации.
11. Интеллектуальные измерения. Дистанционное управление сенсорами.
12. Удаленное управление работой газового котла.

Список компьютерных программ

1. MicroThech 421
2. Онлайн калькуляторы расчета ТС(<https://rcl-radio.ru/?p=20499>) и Термопар (<https://rcl-radio.ru/?p=20577>)
1. SRIM – 2013
2. ICECREAM
3. ORIGIN

Выполнение лабораторных работ

В лабораторном практикуме по дисциплине «Сенсорика и микросистемная техника» запланировано проведение натуральных и численных экспериментов по изучению параметров сенсорных систем. Задание по лабораторным работам для студентов заключается в подготовке отчета в письменном виде по выполненной работе. Контроль выполнения лабораторных работ будет осуществляться путем рассмотрения отчета по

каждой выполненной лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, имя, отчество студента, номер группы.
2. Название работы.
3. Цель исследования.
4. Исходные данные и методику проведения лабораторной работы.
5. Название выполняемого пункта задания.
6. Блок-схему исследования (где это применимо) с необходимыми пояснениями.
7. Таблицы рассчитанных и экспериментальных зависимостей в виде удобном для анализа.
8. Графические зависимости рассчитанных и экспериментальных данных с нанесенными точками и выполненные на одном рисунке для каждого случая.
9. Обсуждение полученных результатов, оценки величин и зависимостей, выводы по работе.

Защита отчетов по лабораторной работе студентам будет проводиться в форме индивидуального собеседования и тестирования.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Приведите примеры 1D, 2D и 3D-умных систем.
2. “Умная пыль”, “Умная поверхность”, “Умная структура”. Дайте их определение и краткую характеристику.
3. Перечислите основные достоинства платформы Arduino.
4. Перечислите основные недостатки платформы Arduino.
5. Дайте определение датчика (сенсора) и актуатора (актюатора).
6. Какие требования предъявляются к датчикам.
7. На каких физических принципах основано функционирование датчиков температуры. Перечислить.
8. На каком эффекте основана работа термопары.
9. Из каких металлов и почему обычно изготавливают датчики температуры.
10. Чем отличается европейский стандарт платиновых сопротивлений от американского.
11. На каком эффекте основана работа ртутного термометра.
12. Как калибруют термопары.
13. В чем преимущества и недостатки полупроводниковых интегральных датчиков температуры.
14. Что такое тепловизор и из каких основных частей он состоит.

15. Что такое компрессор Стирлинга.
16. Перечислите основных производителей тепловизоров и дайте краткую характеристику их продукции.
17. Перечислите окна прозрачности для тепловизионной техники. Из каких материалов делают оптические системы ИК-диапазона.
18. Поясните эффект просветления оптики ИК-диапазона.
19. Что такое абсолютная и относительная влажность.
20. Перечислите известные Вам физические принципы построения датчиков влажности.
21. Как откалибровать датчик влажности.
22. Опишите основные физические принципы работы газовых датчиков (термокондуктометрическая ячейка, топливная ячейка, термохимическая ячейка).
23. Перечислите основные характеристики газовых датчиков.
24. В чем заключается принцип работы полупроводниковых газовых детекторов. Какие полупроводниковые материалы в них используются.
25. Перечислите основных производителей полупроводниковых газовых сенсоров и дайте краткую характеристику их продукции.
26. Какие полупроводниковые материалы используют для изготовления полупроводниковых газовых сенсоров.
27. В чем заключается сущность тензорезистивного эффекта. В каких материалах (металлы, полупроводники) тензорезистивный эффект больше и почему. В чем заключается сущность действительного интегрирования.
28. От каких факторов зависит величина тензорезистивного эффекта в полупроводниках.
29. С помощью каких технологических операций формируются тензорезисторы в кремнии.
30. В чем преимущество датчиков давления, сформированных с применением тензорезистов из карбида кремния.
31. Какие датчики давления можно изготовить на базе элемента X-Ducer (датчики компании Freescale).
32. На каких принципах основана работа датчиков разряжения.
33. Какие физические принципы используются при разработке датчиков давления с использованием оптических эффектов.
34. В чем заключаются особенности формирования датчиков давления с использованием емкостного метода.
35. В чем заключаются особенности формирования датчиков давления с использованием ПАВ.
36. Какие технологии используются при формировании МЭМС и МОЭМС.

37. Какие материалы используются при формировании МЭМС и МОЭМС.
38. Приведите примеры 1D, 2D и 3D интеллектуальных устройств.
39. На каких физических принципах основано формирование акселерометров с кантеливером.
40. Какие материалы используются в МЭМС-акселерометрах с использованием пьезоэлектрического эффекта.
41. Какие типы МЭМС-гироскопов Вам известны. Какова их классификация. Дайте понятие силы Кориолиса.
42. Перечислите основных производителей МЭМС-гироскопов. Дайте краткую характеристику их продукции.
43. В каких устройствах используются твердотельные МЭМС-гироскопы.
44. На каких принципах формируются химические сенсоры.
45. Какой принцип положен в основу функционирования “электронного носа”.
46. Что такое биосенсор.
47. Как работает ион-селективный полевой транзистор.
48. Перечислите физические принципы функционирования датчиков ионизирующего излучения.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Надежность радиоэлектронных систем	Физической электроники и нанотехнологий	нет	(Прот. № 5 от 20.12.2019 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

В.М.Борздов

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

С.В.Малый
