

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»  
Председатель Ученого совета факульте-  
та радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. \_\_\_\_\_  
(подпись)  
\_\_\_\_\_ 2016 г.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

**Сенсоры физических величин в микро- и нанoeлектронике**  
(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки (специальности): **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**  
(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация): **Приборы и устройства в микро- и нанoeлектронике**  
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения **очная** Срок обучения **нормативный**

Кафедра **полупроводниковой электроники и нанoeлектроники**  
(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: **Новокрещенова Е.П., к.т.н.**  
(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии **ФРТЭ**  
(наименование факультета)

Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Председатель методической комиссии Москаленко А.Г.  
(Ф.И.О)

Воронеж 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
 ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 (ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. \_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_ 2016 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Сенсоры физических величин в микро- и нанoeлектронике

(наименование дисциплины (модуля) по УП)

**Закреплена за кафедрой:** полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

**Направление подготовки (специальности):** 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника  
 (код, наименование)

**Профиль:** “Приборы и устройства в микро- и нанoeлектронике”  
 (название профиля по УП)

**Часов по УП:** 72; **Часов по РПД:** 72;

**Часов по УП (без учета часов на экзамены):** 72; **Часов по РПД:** 72;

**Часов на самостоятельную работу по УП:** 36 (50%);

**Часов на самостоятельную работу по РПД:** 36 (50%)

**Общая трудоемкость в ЗЕТ:** 2;

**Виды контроля в семестрах (на курсах):** Экзамены - 0; Зачеты - 3; Зачеты с оценкой – 0;

Курсовые проекты - 0; Курсовые работы - 0.

**Форма обучения:** очная;

**Срок обучения:** нормативный.

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		5 / 18		6 / 18		7 / 18		8 / 10		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции					18	18											18	18
Лабораторные					18	18											18	18
Практические					-	-											-	-
Ауд. занятия					36	36											36	36
Сам. работа					36	36											36	36
<b>Итого</b>					<b>72</b>	<b>72</b>											<b>72</b>	<b>72</b>

**Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» квалификация «Магистр». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 30 октября 2014 г. № 1407.**

**Программу составил:** \_\_\_\_\_ к.т.н., Новокрещенова Е.П.  
(подпись, ученая степень, ФИО)

**Рецензент (ы):** \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки магистров по направлению 11.04.04 “Электроника и нанoeлектроника”, профиль “Приборы и устройства в микро- и нанoeлектронике”.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2016 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ \_\_\_\_\_ С.И. Рембеза

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель освоения дисциплины состоит в изучении принципов работы и изготовления сенсоров физических величин на основе технологии микро- и нанoeлектроники, а также областей их применения.
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	изучение классификации датчиков физических величин;
1.2.2	изучение физических принципов их работы;
1.2.3	ознакомление студентов с основными параметрами, конструктивными и технологическими особенностями изготовления сенсоров и областями их применения;
1.2.4	формирование представления об использовании микро- и нанoeлектронной технологии для создания датчиков;
1.2.5	приобретение навыков измерения основных параметров датчиков физических величин

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Цикл (раздел) ООП: Б1	код дисциплины в УП: Б1.В.ОД.5
<b>2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося</b>	
Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь базовую подготовку по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», а так же по дисциплине	
Б1.Б.3	Проектирование и технология электронной компонентной базы
<b>2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее</b>	
Б3	Государственная итоговая аттестация

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-2	способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры
ПК-1	готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач
ПКВ-1	способность к восприятию, разработке и критической оценке новых способов проектирования твердотельных приборов и устройств
ПКВ-2	теоретическая и практическая готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства приборов и устройств микро- и нанoeлектроники

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	физические принципы функционирования твердотельных датчиков различных физических величин (ОПК-2)

3.1.2	общие представления об изготовлении, конструктивных и технологических особенностях датчиков, возможностях использования микро- и нанoeлектроники для этих целей (ОПК-2)
3.1.3	области применения датчиков различных физических величин (ОПК-2)
3.1.4	тенденции развития микро- и нанoeлектронной сенсорики (ПК-1)
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	проводить количественную оценку основных параметров датчиков (ПКВ-1)
3.2.2	определять допустимые режимы работы датчиков (ПКВ-1)
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	навыками самостоятельной работы при решении теоретических и практических задач разработки, изготовления и эксплуатации сенсоров (ПКВ-2)
3.3.2	теоретическими сведениями, необходимыми для выбора материала и конструкции датчика (ПК-1)

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Общие сведения о датчиках физических величин	3	1	2	-	-	1	3
2	Датчики деформации	3	2-4	2	-	6	5	13
3	Датчики температуры	3	5-8	2	-	6	5	13
4	Твердотельные датчики газов	3	7-12	2	-	6	5	13
5	Датчики магнитного поля	3	9-10	2	-	-	5	7
6	Оптические датчики	3	11-12	2	-	-	3	5
7	Датчики влажности	3	13-14	2	-	-	4	6
8	Датчики других физических параметров. Многофункциональные датчики. Датчики на поверхностных акустических волнах	3	15-16	2	-	-	3	5
9	Датчики микро- и нанoeлектромеханических систем	3	17-18	2	-	-	5	7
Итого				18	-	18	36	72

## 4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)
	<b>1. Общие сведения о датчиках физических величин</b>	<b>2</b>	
1	Цель и содержание дисциплины. Основные термины и понятия сенсорики. Основные параметры датчиков. Классификация сенсоров. Технология изготовления датчиков.	2	
	<b>2. Датчики деформации</b>	<b>2</b>	
3	Основы тензорезистивного эффекта. Конструкции и параметры датчиков. Области применения и типы датчиков. Тензопреобразователи на основе диодов, полевых и биполярных транзисторов. Интегральные тензопреобразователи давления и технология их изготовления. <i>Самостоятельное изучение:</i> Зонная структура кремния и германия.	2	
	<b>3. Датчики температуры</b>	<b>2</b>	
5	Принципы действия термопар, металлических термометров сопротивления, полупроводниковых датчиков температуры. Конструкции и параметры датчиков. Интегральные датчики температуры. Области применения и типы датчиков. Термоанемометры. Контрольная работа <i>Самостоятельное изучение:</i> Термопары	2	
	<b>4. Твердотельные датчики газов</b>	<b>2</b>	
7	Принципы действия термокондуктометрических датчиков, термохимической и электрохимической ячеек, полупроводниковых датчиков газа. Конструктивные и технологические особенности твердотельных датчиков газа, основные параметры датчиков. Датчики на основе МДП-структур. Датчики с барьером Шоттки. Датчики на основе приборов, чувствительных к изменению массы.	2	
	<b>5. Датчики магнитного поля</b>	<b>2</b>	
9	Принципы действия датчиков Холла, магниторезисторов, магнитодиодов и магнитотранзисторов. Магниточувствительные интегральные схемы. Конструкции и параметры датчиков. Области применения и типы датчиков.	2	
	<b>6. Оптические датчики</b>	<b>2</b>	
11	Принципы действия фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов, пироэлектрических приемников ИК-излучения. Конструкции и параметры датчиков. Области применения и типы датчиков. Датчики положения. Датчики изображения. Контрольная работа	2	
	<b>7. Датчики влажности</b>	<b>2</b>	
13	Принципы действия, конструкции и параметры датчиков. Влажочувствительные интегральные сенсоры.	2	
	<b>8. Датчики других физических параметров. Многофункциональные датчики. Датчики на поверхностных акустических волнах</b>	<b>2</b>	
15	Принципы действия, конструкции и параметры многофункциональных датчиков. Датчики на поверхностных акустических волнах	2	
	<b>9. Датчики микро- и наноэлектромеханических систем</b>	<b>2</b>	

17	Понятия микро- и наноэлектромеханической системы и микросистемной техники. Датчики микро- и наноэлектромеханических систем. Микромеханические гироскопы и акселерометры. Контрольная работа	2	
<b>Итого часов</b>		<b>18</b>	

#### 4.2 Практические занятия не предусмотрены учебным планом

#### 4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	В том числе в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
<b>2. Датчики деформации</b>		<b>4</b>		
4	Определение коэффициента тензочувствительности металлических и полупроводниковых тензорезисторов	4		отчет
<b>3. Датчики температуры</b>		<b>4</b>		
8	Определение температурного коэффициента сопротивления терморезисторов	4		отчет
<b>4. Твердотельные датчики газов</b>		<b>4</b>		
12	Измерение газовой чувствительности полупроводникового сенсора на основе SnO <sub>2</sub>	4		отчет
16	Зачетное занятие. Тестирование	<b>6</b>		отчет
<b>Итого часов</b>		<b>18</b>		

#### 4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
2	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения	проверка конспекта	2
3	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
4	Подготовка к выполнению лабораторной работы	допуск к выполнению	2
5	Подготовка конспекта по теме для самостоятельного изучения Подготовка к контрольной работе	проверка конспекта контрольная работа	2
6	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
7	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
8	Подготовка к выполнению лабораторной работы	допуск к выполнению, отчет, защита	2
9	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
10	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
11	Работа с конспектом лекций, с учебником Подготовка к контрольной работе	контрольная работа	2
12	Подготовка к лабораторной работе	отчет, защита	2
13	Работа с конспектом лекций, с учебником		2

14	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
15	Работа с конспектом лекций, с учебником		2
16	Подготовка к лабораторным работам Подготовка к тестированию	допуск, отчет, защита, тестирование	2
17	Работа с конспектом лекций, с учебником Подготовка к контрольной работе	контрольная работа	2
18	Подготовка к зачету	зачет	2
<b>ИТОГО</b>			<b>36</b>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	<b>В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:</b>
5.1	<b>Лекции:</b> информационные лекции, проведение контрольных работ;
5.2	<b>лабораторные работы:</b> выполнение лабораторных работ, защита выполненных работ;
5.3	<b>Самостоятельная работа студентов:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– изучение теоретического материала,</li> <li>– подготовка к лекциям и лабораторным занятиям,</li> <li>– работа с учебно-методической литературой,</li> <li>– оформление конспектов лекций,</li> <li>– подготовка к текущему контролю успеваемости, к контрольным работам, тестированию и зачету</li> </ul>
5.4	<b>консультации</b> по всем вопросам учебной программы.

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

<b>6.1</b>	<b>Контрольные вопросы и задания</b>
6.1.1	Используемые формы текущего контроля: <ul style="list-style-type: none"> <li>– контрольные работы;</li> <li>– тестирование;</li> <li>– отчет и защита выполненных лабораторных работ.</li> </ul>
6.1.2	Рабочая программа дисциплины обеспечена фондом оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации. Фонд включает примерные варианты контрольных работ, вопросы к зачету, тесты. Фонд оценочных средств представлен в учебно-методическом комплексе дисциплины.
<b>6.2</b>	<b>Темы письменных работ</b>
6.2.1	Контрольная работа по теме «Датчики деформации и температуры»
6.2.2	Контрольная работа по теме «Датчики газового состава, магнитного поля и оптического излучения»
6.2.3	Контрольная работа по теме «Датчики влажности. Датчики различных физических величин»



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

<b>7.1 Рекомендуемая литература</b>				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
<b>7.1.1. Основная литература</b>				
7.1.1.1	Новокрещенова Е.П.	Введение в сенсорику: учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ	2011 Печат.	1
7.1.1.2	Рембеза Е.С., Рембеза С.И.	Датчики температуры и принципы их работы. Воронеж: ВГТУ	2009 Печат.	1
7.1.1.3	Рембеза Е.С., Рембеза С.И.	Датчики силы и давления. Воронеж: ВГТУ	2009 Печат.	1
7.1.1.4	Рембеза Е.С., Рембеза С.И.	Датчики на основе магнитных и оптических эффектов. Воронеж: ВГТУ	2010 Печат.	1
7.1.1.5	Джексон Р.Г.	Новейшие датчики. Справочник. М.: Техносфера	2007 Печат.	
7.1.1.6	Фрайден Д.Ж.	Современные датчики Справочник. М.: Техносфера.	2006 Печат.	
<b>7.1.2. Дополнительная литература</b>				
7.1.2.1	Виглеб Г.	Датчики. М.: Мир	1989 Печат.	0.5
7.1.1.2	Аш Ж.	Датчики измерительных систем. Кн. 1. М.: Мир	1992 Печат.	0.5
7.1.1.3	Аш Ж.	Датчики измерительных систем. Кн. 2. М.: Мир	1992 Печат.	0.5
<b>7.1.3 Методические разработки</b>				
7.1.3.1	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплинам «Физические основы сенсорики» для студентов направления 210100.62 «Электроника и микроэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») и «Твердотельные сенсоры и их применение» для студентов направления 223200.68 «Техническая физика» (магистерская программа подготовки «Физика и техника полупроводников») очной формы обучения № 228-2012	2012 Печат.	1
7.1.3.2	Новокрещенова Е.П. Русских Д.В.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физические основы сенсорики» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения № 30-2007	2007 печат.	1
<b>7.1.4 Программное обеспечение и интернет ресурсы</b>				
7.1.4.1				

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>8.1</b>	Учебные лаборатории: 213/4, 209/4
<b>8.2</b>	Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума и проекторами
<b>8.3</b>	Натурные лекционные демонстрации датчиков деформации, газового состава, температуры и др.
<b>8.4</b>	Плакаты и наглядные пособия из фонда кафедры ПШЭНЭ

**Карта обеспеченности рекомендуемой литературой по дисциплине  
«Сенсоры физических величин в микро- и нанoeлектронике»**

<b>1 Рекомендуемая литература</b>				
<b>№ п/п</b>	<b>Авторы, составители</b>	<b>Заглавие</b>	<b>Годы издания. Вид издания</b>	<b>Обеспеченность</b>
<b>1.1. Основная литература</b>				
1.1.1	Новокрещенова Е.П.	Введение в сенсорику: учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ	2011 Печат.	1,0
1.1.2	Рембеза Е.С., Рембеза С.И.	Датчики температуры и принципы их работы. Воронеж: ВГТУ	2009 Печат.	1,0
1.1.3	Рембеза Е.С., Рембеза С.И.	Датчики силы и давления. Воронеж: ВГТУ	2009 Печат.	1,0
1.1.4	Рембеза Е.С., Рембеза С.И.	Датчики на основе магнитных и оптических эффектов. Воронеж: ВГТУ	2010 Печат.	1,0
1.1.5	Джексон Р.Г.	Новейшие датчики. Справочник. М.: Техносфера	2007 Печат.	
1.1.6	Фрайден Д.Ж.	Современные датчики Справочник. М.: Техносфера.	2006 Печат.	
<b>1.2. Дополнительная литература</b>				
1.2.1	Виглеб Г.	Датчики. М.: Мир	1989 Печат.	0.5
1.1.2	Аш Ж.	Датчики измерительных систем. Кн. 1. М.: Мир	1992 Печат.	0.5
1.1.3	Аш Ж.	Датчики измерительных систем. Кн. 2. М.: Мир	1992 Печат.	0.5
<b>1.3 Методические разработки</b>				
1.3.1	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплинам «Физические основы сенсорики» для студентов направления 210100.62 «Электроника и нанoeлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») и «Твердотельные сенсоры и их применение» для студентов направления 223200.68 «Техническая физика» (магистерская программа подготовки «Физика и техника полупроводников») очной формы обучения № 228-2012	2012 Печат.	1
1.3.2	Новокрещенова Е.П. Русских Д.В.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физические основы сенсорики» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения № 30-2007	2007 печат.	1

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.И. Рембеза

Директор НТБ \_\_\_\_\_ Т.И. Буковшина

«УТВЕРЖДАЮ»  
Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

\_\_\_\_\_ Небольсин В.А.  
(подпись)

\_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

**Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД**

**Сенсоры физических величин в микро- и нанoeлектронике**

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

---

---

---

---

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.И. Рембеза

### Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения