

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЕНСОРЫ


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 111,7 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сарач О.Б.
	Идентификатор	R2562e7bf-SarachOB-f26c228a

(подпись)

О.Б. Сарач

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8c

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение разновидностей полупроводниковых сенсоров, их принципа действия, основных параметров и характеристик, области применения и методов их моделирования

Задачи дисциплины

- освоение информации о физических основах работы и разновидностях полупроводниковых сенсоров;

- развитие способности аргументированно выбирать информацию о принципах действия и основных типах полупроводниковых сенсоров, изготовленных из различных полупроводниковых материалов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем	ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	знать: - принципы работы полупроводниковых сенсоров, применяемых в различных устройствах электроники и наноэлектроники. уметь: - самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Твердотельная микро- и наноэлектроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Материалы электронной техники», «Твердотельная электроника», «Физика твёрдого тела», «Основы технологии электронной компонентной базы» в объёме программы бакалавриата

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника	21	3	2	-	4	-	-	-	-	-	15	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника"</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника"</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 160-161, 287-288 [4], 7-18</p>
1.1	Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника	21		2	-	4	-	-	-	-	-	15	-	
2	Сенсоры магнитного поля	14		2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
2.1	Сенсоры магнитного поля	14		2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	

														<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Сенсоры магнитного поля" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Сенсоры магнитного поля"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 298-305 [2], 287-299</p>
3	Сенсоры температуры	14	2	-	2	-	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Сенсоры температуры"</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Сенсоры температуры и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Сенсоры температуры"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Сенсоры температуры" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 293-298 [3], 240-341</p>
3.1	Сенсоры температуры	14	2	-	2	-	-	-	-	-	-	10	-	
4	Сенсоры давления и механических перемещений	19	2	-	2	-	-	-	-	-	-	15	-	<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Сенсоры давления и механических перемещений и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Сенсоры давления и механических перемещений"</p>
4.1	Сенсоры давления и механических перемещений	19	2	-	2	-	-	-	-	-	-	15	-	

													<p>перемещений" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Сенсоры давления и механических перемещений" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Сенсоры давления и механических перемещений" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 288-293 [3], 342-458</p>
5	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Полупроводниковые детекторы ядерных излучений"</p>
5.1	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Полупроводниковые детекторы ядерных излучений" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Полупроводниковые детекторы ядерных излучений и подготовка к контрольной работе <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Полупроводниковые детекторы ядерных излучений" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 305-311 [2], 455-467</p>
6	Химические сенсоры	14	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу</p>
6.1	Химические сенсоры	14	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	

													<p>"Химические сенсоры"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Химические сенсоры" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Химические сенсоры и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Химические сенсоры"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 311-314 [2], 511-543</p>
7	Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства	28	2	-	2	-	-	-	-	-	24	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства"</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 161-163</p>
7.1	Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства	28	2	-	2	-	-	-	-	-	24	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства"</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 161-163</p>

														[5], 564-603
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7		
	Всего за семестр	144.0	16	-	16	-	-	-	-	0.3	94	17.7		
	Итого за семестр	144.0	16	-	16	-	-	-	-	0.3		111.7		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника

1.1. Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника

Классификация сенсоров. Выходные параметры и методы регистрации сигнала. Статические и динамические характеристики сенсоров. Краткий обзор применения сенсоров в технологии, космических летательных аппаратах, медицине, домашнем быту, энергетике и мониторинге окружающей среды.

2. Сенсоры магнитного поля

2.1. Сенсоры магнитного поля

Физические и химические принципы, лежащие в основе работы сенсоров магнитного поля. Тонкопленочные и монокристаллические датчики Холла. Магниторезисторы. Магнитодиоды. Технология изготовления. Параметры и конкретные данные по приборам. Области применения.

3. Сенсоры температуры

3.1. Сенсоры температуры

Термопары и термосопротивления. Использование полупроводниковых приборов в качестве температурных сенсоров. Приемники ИК-излучения и температурная сенсорика.

4. Сенсоры давления и механических перемещений

4.1. Сенсоры давления и механических перемещений

Полупроводниковые и металлические тензорезисторы. Физические и химические принципы, лежащие в основе работы сенсоров механических перемещений. Кремниевые мембранные сенсоры. Емкостные сенсоры на МДП структурах.

5. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений

5.1. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений

Физические и химические принципы, лежащие в основе работы полупроводниковых детекторов ядерных излучений. Конструкции детекторов ядерного излучения. Координатно-чувствительные приборы для регистрации треков частиц.

6. Химические сенсоры

6.1. Химические сенсоры

Пелисторы. Химические сенсоры на оксидных полупроводниках. Керамические и тонкопленочные сенсоры. Физика работы. Технология изготовления. Роль катализаторов. Стабильность и избирательность. Химические сенсоры на основе кремниевых полевых транзисторов.

7. Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства

7.1. Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства

Обработка сигнала сенсоров. Вопросы временной и температурной стабильности. Вопросы стандартизации. Конструкции сенсоров и вопросы корпусирования. Потребности и рынок. Перспективы развития. Интеллектуальные сенсорные устройства.

3.3. Темы практических занятий

1. 2. Характеристики сенсоров;
2. 8. Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства;
3. 7. Химические сенсоры;
4. 6. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений;
5. 5. Сенсоры давления и механических перемещений;
6. 4. Сенсоры температуры;
7. 3. Сенсоры магнитного поля;
8. 1. Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сенсоры магнитного поля"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сенсоры температуры"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сенсоры давления и механических перемещений"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Полупроводниковые детекторы ядерных излучений"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Химические сенсоры"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)							Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7		
Знать:										
принципы работы полупроводниковых сенсоров, применяемых в различных устройствах электроники и нанoeлектроники	ИД-1ПК-1	+	+	+	+					Контрольная работа/Современные сенсоры Контрольная работа/Характеристики сенсоров
Уметь:										
самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области	ИД-1ПК-1					+	+	+		Контрольная работа/Интеллектуальные сенсорные устройства Контрольная работа/Обработка сигналов сенсоров

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Интеллектуальные сенсорные устройства (Контрольная работа)
2. Обработка сигналов сенсоров (Контрольная работа)
3. Современные сенсоры (Контрольная работа)
4. Характеристики сенсоров (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Э. Н. Воронков, [и др.] . – М. : АКАДЕМИЯ, 2009 . – 320 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4618-1 .;
2. Фрайден, Д. Современные датчики : справочник : пер. с англ. / Д. Фрайден . – М. : Техносфера, 2005 . – 592 с. – (Мир электроники) . - ISBN 5-948360-50-4 .;
3. Аш, Ж. Датчики измерительных систем : В 2 кн. Кн.1. : пер. с фр. / Ж. Аш . – М. : Мир, 1992 . – 480 с. - ISBN 5-03-001641-4 .;
4. Г. В. Смирнов, В. С. Солдаткин, В. И. Туев- "Приборы и датчики экологического контроля", Издательство: "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники", Томск, 2015 - (117 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480910>;
5. В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин, И. Г. Минаев, А. С. Совлуков- "Датчики: Справочное пособие", Издательство: "РИЦ Техносфера", Москва, 2012 - (624 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214292>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
12. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
13. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
14. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
15. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
16. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
17. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
18. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru; http://docs.cntd.ru/>
19. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
20. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
21. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Полупроводниковые сенсоры

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Характеристики сенсоров (Контрольная работа)
 КМ-2 Современные сенсоры (Контрольная работа)
 КМ-3 Обработка сигналов сенсоров (Контрольная работа)
 КМ-4 Интеллектуальные сенсорные устройства (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника					
1.1	Сенсоры и полупроводниковая микроэлектроника		+	+		
2	Сенсоры магнитного поля					
2.1	Сенсоры магнитного поля		+	+		
3	Сенсоры температуры					
3.1	Сенсоры температуры		+	+		
4	Сенсоры давления и механических перемещений					
4.1	Сенсоры давления и механических перемещений		+	+		
5	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений					
5.1	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений				+	+
6	Химические сенсоры					
6.1	Химические сенсоры				+	+
7	Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства					
7.1	Вопросы обработки сигнала сенсоров и интеллектуальные сенсорные устройства				+	+
Вес КМ, %:			20	30	25	25