

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Сенсоры

по направлению подготовки

03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки:

Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
И.А. Прудаев

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач в области радиофизики и электроники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники

ИПК 3.2 Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат в области сенсорной техники

– Научиться применять полученные знания для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль «Функциональная электроника».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Третий семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-лабораторные: 20 ч.

в том числе практическая подготовка: 20 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Сбор данных и характеристики сенсоров.

Сбор данных. Классификация сенсоров. Основные характеристики сенсоров. Статические характеристики сенсоров. Метрологические характеристики сенсоров и погрешности. Динамические характеристики сенсоров.

Тема 2. Сенсоры магнитного поля.

Принцип действия, устройство, характеристики и применение датчиков Холла. Магниторезистивный эффект в полупроводниках. Магниторезисторы. «Монолитные» магниторезисторы. «Пленочные» магниторезисторы. Магнитодиоды. Магнитодиоды на основе технологии «кремний на изоляторе». Биполярные магнитотранзисторы. Эффект

Виганда. Феррозондовые преобразователи магнитного поля. Датчики с частотным выходом на основе винтовой неустойчивости полупроводниковой плазмы в Si.

Тема 3. Сенсоры температуры.

Электрические методы измерений температуры. Полупроводниковый терморезистор. Характеристики термисторов. Термистор косвенного подогрева. Датчики температуры на основе p – n -перехода. Материалы и характеристики терморезисторов на основе металлов. Металлопленочные терморезисторы. Термоэлектрические преобразователи температуры. Радиационные пирометры. Акустические термометры: принцип действия; конструкции; характеристики. Кварцевые термодатчики.

Тема 4. Тензосенсоры.

Тензорезистивный эффект в полупроводниках. Влияние деформации на электрофизические параметры полупроводников. Тензорезисторы. Тензодиоды. Тензочувствительность гетеропереходов и барьеров Шоттки. Тензочувствительность биполярных транзисторов. Тензочувствительность полевых транзисторов. Тензорезистивный эффект в металлах. Анализ тензочувствительности металлических сплавов. Проволочные тензорезисторы. Фольговые, тонкопленочные тензорезисторы. Жидкометаллические тензодатчики. Высокотемпературные тензосенсоры. Материалы для изготовления металлических тензорезисторов. Основные характеристики металлических тензорезисторов. Расчет напряженного состояния в точке по показаниям тензорозеток. Мост Уитстона для измерения деформаций.

Тема 5. Газовые и химические сенсоры.

Газовые датчики на основе полупроводниковых структур. Основные закономерности адсорбции газов на поверхности металлооксидных полупроводников. Изгиб энергетических зон на поверхности полупроводника n -типа при хемосорбции кислорода. Механизмы проводимости и сенсорный эффект. Пути повышения чувствительности, селективности и стабильности газовых сенсоров на основе металлооксидных полупроводников: модификация диоксида олова добавками металлов; режим термоциклирования; Газочувствительные свойства газовых сенсоров на основе металлооксидных полупроводников при воздействии оптического излучения. Принципы функционирования и характеристики газовых сенсоров на основе полупроводниковых гетероструктур: МДП-структуры; структуры полупроводник/диэлектрик/полупроводник; структуры металл/полупроводник; структуры полупроводник/полупроводник. Термокаталитические датчики газа. Электрохимические сенсоры газа. Химически чувствительный полевой транзистор. Сенсоры на основе поверхностного плазмонного резонанса для газового и биохимического анализа.

Тема 6. Микроэлектромеханические системы (МЭМС).

Основные понятия и технология МЭМС. Физические основы работы МЭМС-устройств: удлинение консоли за счет пьезоэффекта; удлинение консоли при нагревании; изгиб консоли при воздействии внешней силы; изгиб биморфной консоли при нагревании. МЭМС-сенсоры: Датчики давления; Емкостные датчики; Акселерометры; Ёмкостные акселерометры; Пьезоэлектрические акселерометры; Гироскопы; Гироскоп с вибрирующим кольцом.

Тема 7. Органические сенсоры.

Органические сенсоры: конструкции, технология, применение. Материалы для органических полевых транзисторов (ОПТ). Методы изготовления ОПТ. Биосенсоры. Датчики давления на основе ОПТ. Датчики газовых смесей на основе ОПТ. Датчики температуры.

Тема 8. Пьезосенсоры.

Свойства и характеристики пьезоматериалов. Пьезорезистивные датчики давления. Пьезоэлектрические микрофоны. Пьезоэлектрические датчики температуры. Тактильные чувствительные элементы и датчики силы. ПАВ-сенсоры.

Тема 9. Датчики влажности и расходомеры.

Основы функционирования датчиков влажности. Материалы и технологии датчиков влажности. Основные характеристики. Физические основы работы расходомеров газов и жидкостей. Конструкции расходомеров газов и жидкостей. Применение прецизионных расходомеров газов и жидкостей.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения устных опросов, выполнения лабораторных заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники), ИПК-3.2 (Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач).

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа. В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники).

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Среда электронного обучения iDO».

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы / Пасынков В. В., Чиркин Л. К. - 9-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 480 с. – Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). – URL: <https://e.lanbook.com/book/167773>

2. Рафиков Р. А. Электронные цепи и сигналы. Аналоговые сигналы и устройства / Р. А. Рафиков. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 440 с. — ISBN 978-5-8114-7607-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/230414>

б) дополнительная литература:

1. Сорокин, В.С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники: учебное пособие / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 384 с. – ISBN 978-5-8114-2002-5. – Текст: электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/168894> (доступно в локальной сети ТГУ)

2. Агеев О.А. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин: учебное пособие / О.А. Агеев, В.М. Мамиконова, В.В. Петров, В.Н. Котов, О.Н. Негоденко. – Таганрог: Издательство ТРТУ. – 2000. – 153 с. URL: http://www.studmed.ru/ageev-oamamikonova-vm-i-dr-mikroelektronnye-preobrazovateli-neelektricheskikhvelichin_c9f04224cd7.html#

3. Семенов А.Л. Магнитные материалы микро- и нанoeлектроники : Учебное пособие / А. Л. Семенов, А. А. Гаврилюк, Н. К. Душутин, Ю. В. Ясюкевич. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. – 147 с. http://www.bicmm.isu.ru/DocDESS/files/Magn_Materials.pdf

4. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники: Учеб. пособие. – Изд. 2-е. – СПб.: Лань, 2021. – 560 с.

5. Саченков А.А. Экспериментальные методы исследования напряжений: учеб. пособие / А.А. Саченков, Д.В. Бережной, О.А. Саченков,. – Казань: Казан. ун-т, 2017. – 43 с. https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/113151/Eksperimentalnye_metody_issledovaniya_napryazhenij.pdf

6. Гаман В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров: монография / В. И. Гаман. – Томск: Издательство НТЛ, 2012. – 112 с. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000426793>

7. Неорганические структуры как материалы для газовых сенсоров / Р. Б. Васильев [и др.] // Успехи химии. – 2004. – Т. 74, № 10. – С. 1019–1038. URL: http://www.uspkhim.ru/php/paper_rus.phtml?journal_id=rc&paper_id=921

8. Максимова Н.К. Полупроводниковые тонкопленочные газовые сенсоры / Н.К. Максимова, Е.Ю. Севастьянов, Н.В. Сергейченко, Е.В. Черников; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. – Томск: Издательство НТЛ, 2016. – 163 с.

9. Гуртов В.А. Микроэлектромеханические системы: учебное пособие / В.А. Гуртов, М.А. Беляев, А.Г. Бакшеева. – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ. – 2016. – 171 с. URL: http://dssp.petrstu.ru/d/gurtov_belyaev_baksheeva_mems.pdf

10. Сафонов А., Органические сенсоры: конструкции, технология, применение // Электроника. – 2017. – №1 – С. 70-80. <https://www.electronics.ru/journal/article/5835>

11. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. – Москва: Издательство «Техносфера». – 2006. – 632 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Лозинская А.Д. Технологии материалов и устройств функциональной электроники [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс. Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=13431>.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010);

– пакет программного обеспечения PTC MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015;

– пакет SMath Studio для решения задач на практических занятиях (в свободном доступе).

б) информационные справочные системы:

– eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>

– Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ из сети НИ ТГУ). – URL:
<http://e.lanbook.com/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Алмаев Алексей Викторович, кандидат физико-математических наук,
Радиофизический факультет ТГУ, доцент.