

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Методы исследований параметров материалов и структур

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:

ОПК-3 Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности..

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 3.1 Осуществляет поиск научно-технической информации с использованием информационных технологий

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 измерительной техники при исследовании свойств полупроводниковых структур

– 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 обязательной части образовательной программы.

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

Второй 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: 10 ч.

-лабораторные: 8 ч.

-семинар: 28 ч.

в том числе практическая подготовка: 8 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. **Введение.**

Основные типы полупроводниковых материалов и приборов. Классификация параметров полупроводников и полупроводниковых приборов и методов их измерения.

Тема 2. **Методы измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов и структур.**

Однозондовый, двухзондовый и четырехзондовый методы измерения. Измерение удельного сопротивления тонких пластин и слоев с переменным составом по глубине слоя четырехзондовым методом. Метод сопротивления растекания точечного контакта. Метод Ван дер Пау. Эффект Холла и магниторезистивный эффект. Измерения на пластинах произвольной формы. Бесконтактные методы измерения удельного сопротивления.

Тема 3. Оптические методы измерения параметров полупроводников.

Определение оптических констант. Формулы Френеля, соотношения Крамерса-Кронига. Эллипсометрия. Измерение концентрации носителей заряда по спектрам поглощения и отражения. Плазменный резонанс. Измерение толщины тонких пленок по сдвигу полос интерференции. Измерение диффузионной длины по спектрам фотолюминесценции. Измерение времени жизни носителей заряда по сдвигу фазы фотолюминесценции. Представление о способах измерения двулучепреломления и нелинейной восприимчивости. Импульсная терагерцовая спектроскопия. Метод “накачка-зонд”.

Тема 4. Методы измерения диффузионной длины, времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации носителей заряда

Метод стационарной фотопроводимости. Фотомагнитный метод. Метод модуляции проводимости в точечном контакте. Метод подвижного светового зонда.

Тема 5. Методы измерения параметров полупроводниковых приборов.

Принципы измерения и измерительные приборы. Измерение параметров полупроводниковых диодов. Параметры, получаемые из вольт-амперной характеристики диодов (выпрямляющий диод, туннельный диод и другие). Параметры, получаемые из вольт-фарадной характеристики. Измерение параметров и характеристик биполярных и полевых транзисторов.

Тема 6. Зондовые методы измерения свойств поверхности полупроводниковых структур.

Атомно-силовой микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп, принцип действия. Режимы сканирования: топология поверхности, магнитно-силовая микроскопия, метод зонда Кельвина. Электронный зонд, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия.

Тема 7. Профильный анализ полупроводниковых структур

Масс-спектрометрия, атомно-эмиссионная спектроскопия, атомно-зондовая томография, метод меченных атомов.

Тема 8. Методы измерения параметров полупроводниковых структур по емкостным характеристикам

Спектроскопия адмиттанса и профилирование носителей заряда в наногетероструктурах. Разрушающие и неразрушающие методы C-V-измерения профилей концентрации носителей заряда. DLTS -спектроскопия глубоких уровней, фото-DLTS.

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: ИОПК-3.1 (Осуществляет поиск научно-технической информации с использованием информационных технологий), 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 во втором 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. Васильев, В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и нанoeлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 107 с. — ISBN 978-5-7782-3915-9. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/152159>

2. Воротынцев В. М. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: учебное пособие: / В. М. Воротынцев, В. Д. Скупов. - Москва: Проспект, 2019. - 519 с.

– Васильев, В. Ю. Современное производство изделий микроэлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 88 с. — ISBN 978-5-7782-3907-4. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/152235>

3. Каменская А. Основы технологии материалов микроэлектроники: Учебно-методическая литература / Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2010. - 96 с.. URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=64968>.

4. Капустин В. И. Материаловедение и технологии электроники: учебное пособие: / В. И. Капустин, А. С. Сигов. - Москва : ИНФРА-М, 2014. – 425.

5. Барыбин, А. А. Физико-технологические основы макро-, микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 784 с. — ISBN 978-5-9221-1321-2. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/5258>

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

Прудаев Илья Анатольевич, Радиофизический факультет ТГУ, доцент.

Коханенко Андрей Павлович, Радиофизический факультет ТГУ, профессор.