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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Терагерцовая оптоэлектроника

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-1 Способен производить анализ состояния научно-технической проблемы, технического задания, формулировать цель и задачи научного исследования в области радиофизики и электроники.

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1 Формулирует проблему и определяет предметную область исследования

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 терагерцовой оптоэлектроники

– Научиться применять понятийный аппарат 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, зачет

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 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 20 ч.

-лабораторные: 4 ч.

-семинар: 8 ч.

в том числе практическая подготовка: 4 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. **Введение.**

Терагерцовый диапазон на шкале частот электромагнитного излучения. Основные свойства и применения терагерцового излучения. Предмет и содержание курса.

Тема 2. **СВЧ-методы генерации и детектирования терагерцового излучения.**

Лампы бегущей и обратной волны. Гиротроны. Диоды Ганна. Лазер на свободных электронах. Синхротрон. Умножители частоты. Гетеродинные приемники на диодах Шоттки. Фотоприемники и болометры.

Тема 3. Полупроводниковые устройства терагерцового диапазона.

Диоды с барьером Шоттки и диоды Ганна. Униполярный фотодиод. Квантово-каскадный лазер. Приемник на эффекте фотонного увлечения. Пироэлектрические и фотоэлектрические детекторы.

Тема 4. Оптические методы генерации и детектирования терагерцового излучения.

Нелинейно-оптические методы генерации терагерцового излучения. Черенковское излучение. Генерация в плазме лазерного филамента. Генерация от поверхности полупроводников. Фотопроводящие дипольные антенны и фотомиксеры. Газовые лазеры. Электрооптический детектор терагерцового излучения. Ячейка Голея.

Тема 5. Терагерцовая спектроскопия.

Основные типы и схемы терагерцовых спектрометров. Принципы импульсной терагерцовой спектроскопии (THz-TDS) во временном представлении. Методы обработки данных. Шумы и динамический диапазон спектрометра. Спектральные особенности полупроводников, композитных материалов и газовых сред в терагерцовом диапазоне частот. Эмиссионная спектроскопия. Методы «накачка–зонд». Вариант с оптической накачкой и зонированием за счет возбуждения и регистрации терагерцовой эмиссии.

Тема 6. Свойства полупроводниковых структур в терагерцовом диапазоне частот.

Фононные колебания. Спектры поглощения и комбинационного рассеяния. Горячие электроны. Эффект фотонного увлечения. Фотогальваномагнитные и фотогальванические эффекты. Блоховские осцилляции. Свойства графена и квантоворазмерных структур.

Тема 7. Передача данных с использованием терагерцовых технологий.

Фотонные технологии в телекоммуникациях. Схемы фотонных приемников, модуляторов и передатчиков данных на терагерцовых несущих частотах. Параметры транзиттеров и детекторов, принципы измерения.

Тема 8. Избранные применения терагерцового излучения в науке и технике.

Применения в системах безопасности, радиовидении и космологии. Ближнепольная терагерцовая наноскопия. Терагерцовая томография. Применения в медицине. Плазмоника и терагерцовые сенсоры. Метаматериалы и фотонные кристаллы.

Тема 9. Представление о радиофотонике. Основные типы устройств.

Определение радиофотоники. СВЧ электроабсорбционные и электрооптические модуляторы. Радиофотонный АЦП. Применения в радиолокации. Перспективы развития.

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-1.1 (Формулирует проблему и определяет предметную область исследования), 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

Зачет в третьем семестре проводится в устной форме по билетам. Билет состоит из двух частей. Продолжительность зачета 1 час. В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-1.1 (Формулирует проблему и определяет предметную область исследования), 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. Чжан Си-Чен Терагерцовая фотоника/ Чжан С.-Ч., Шю Д. — М.; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований, 2016. - 334 с.

2. Гареев Г.З., Лучинин В.В. Терагерцовые системы и технологии (обзор современного состояния). – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ ЛЭТИ, – 2015. – 228 с. ISBN 978-5-9907414-0-9.

3. Терагерцовый диапазон частот: электронная компонентная база, вопросы метрологического обеспечения / С.А. Алавердян, С.И. Боков, В.О. Булгаков, Н.А. Зайцев, В.М. Исаев, И.Н. Кабанов, Ю.Ю. Катушкин, В.В. Комаров, А.П. Креницкий, В.П. Мещанов, С.А. Савушкин, А.В. Сыромятников, А.С. Якунин // Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. – М.: ЦНИИ «Электроника», 2012. – 74 с.

4. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.

5. Ландсберг Г.С. Оптика. 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.

6. Терагерцовая техника и ее применение в биомедицинских технологиях / Ю.В. Гуляев, А.П. Креницкий, О.В. Бецкий, А.В. Майбородин, В.Ф. Киричук // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 9. – С. 30–35.

7. Yao, Jianping. (2012). A tutorial on microwave photonics. IEEE Photonics Society Newsletter. 26, No 2, pp. 4-12.

8. Yao, Jianping. (2012). A tutorial on microwave photonics. IEEE Photonics Society Newsletter. 26, No 3, pp. 5-12.

9. S.D. Ganichev and W. Prettl Intense Terahertz Excitation of Semiconductors Oxford University Press, 2006 418 p. ISBN 019-8-52830-2

10. E. Smith, G. Dent. Raman Spectroscopy – A Practical Approach./ John Wiley & Sons Ltd. – 2005. – 210 p.
11. Terahertz wireless communications based on photonics technologies / T. Nagatsuma, S. Horiguchi, Y. Minamikata, Y. Yoshimizu, S. Hisatake, S. Kuwano, N. Yoshimoto, J. Terada, H. Takahashi // Optics Express. – 2013. – Vol. 21, No 21. – P. 23736–23747.
12. Terahertz optoelectronics / K. Sakai. – Springer, 2005. – 402 p.
13. Царев М.В. Генерация и регистрация терагерцового излучения ультракороткими лазерными импульсами: учебное пособие. – Нижний Новгород: НГУ, – 2011. – 75 с.
14. Электронные приборы сверхвысоких частот: Учеб. пособие / Ю.М.Рычков. – Гродно: ГрГУ, 2002. – 103 с. ISBN 985-417-375-5.

в) ресурсы сети Интернет:

- открытые онлайн-курсы
- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <https://www.elibrary.ru/>
- Электронный ресурс American Institute of Physics <https://www.scitation.org/>
- Электронный ресурс American Physical Society <https://journals.aps.org/>
- Электронный ресурс ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/>
- Электронный ресурс SpringerLink: <https://link.springer.com/>
- Электронный ресурс SPIE Digital Library: <https://www.spiedigitallibrary.org/>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

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

Саркисов Сергей Юрьевич, кандидат физ.-мат. наук, Томский государственный университет, старший научный сотрудник.