

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

**Полупроводниковая электроника**

по направлению подготовки / специальности

**03.03.03 Радиофизика**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:  
**Киберфизические системы, прикладная электроника и квантовые технологии**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Радиофизик-кибернетик, преподаватель. Разработчик киберфизических и квантовых систем**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

О.А. Доценко

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

БК-3 Способен использовать принципы и средства профессиональной коммуникации для эффективного взаимодействия

ОПК-2 Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

ПК-1 Способен проанализировать поставленную задачу в области радиофизики и электроники, осуществлять поиск, обобщение и использование научно-технической информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональной задачи

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОБК 3.2 Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе

РООПК 2.1 Знает соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных и теоретических исследований

РООПК 2.2 Умеет обрабатывать для получения обоснованных выводов и представлять полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований

РОПК 1.3 Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов

РОПК 3.2 Умеет проводить радиофизические измерения с использованием современных средств измерения и контроля

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– познакомиться с принципами действия современных полупроводниковых приборов;

– получить навыки расчёта и измерения параметров и характеристик полупроводниковых приборов;

– научиться применять понятийный аппарат полупроводниковой электроники 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**

Седьмой семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Математический анализ», «Физика», «Радиоэлектроника», «Физика полупроводников».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 50 ч.

-лабораторные: 36 ч.

-практические занятия: 18 ч.

в том числе практическая подготовка: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

### **Раздел 1. Введение**

Краткий исторический обзор развития полупроводниковой электроники. Предмет и содержание курса.

### **Раздел 2. Явления на контакте металл – полупроводник**

Диоды Шоттки Образование и свойства запирающего слоя Шоттки. Электрические характеристики барьера Шоттки. Функциональные возможности диодов Шоттки.

### **Раздел 3. Электронно-дырочные переходы**

Образование и характеристики электронно-дырочного перехода. Механизмы протекания тока. Частотные свойства. Функциональные возможности полупроводниковых диодов.

### **Раздел 4. Гетеропереходы**

Получение гетеропереходов. Энергетические диаграммы и основные свойства гетероструктур. Использование гетеропереходов в полупроводниковых приборах.

### **Раздел 5. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы**

Принципы действия и характеристики фотодиодов. Светодиоды и их характеристики.

### **Раздел. Диоды для усиления и генерации СВЧ-мощности**

Вольт-амперная характеристика и частотные свойства туннельного диода. Вольт-амперная характеристика диода Ганна. Формирование доменов и режимы работы диодов Ганна

### **Раздел 7. Биполярные транзисторы**

Принцип действия биполярного транзистора. Статические характеристики биполярного транзистора. Частотные свойства. Типы быстродействующих транзисторов.

### **Раздел 8. Полевые транзисторы**

Полевой транзистор с  $p-n$ -переходом в качестве затвора. МДП-транзисторы. Гетеропереходный транзистор с высокой подвижностью электронов.

## **Раздел 9. Тиристоры. Приборы с зарядовой связью**

Принцип действия динистора. Тиристор с управляющим электродом. Применение тиристоров. Принцип действия приборов с зарядовой связью. ПЗС-фотодетекторы.

## **Раздел 10. Интегральные микросхемы**

Полупроводниковые биполярные микросхемы. МДП-интегральные микросхемы. Элементы технологии интегральных микросхем.

### **Лабораторные работы**

Тема 1. Изучение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода.

Тема 2. Изучение зависимости барьерной ёмкости полупроводникового диода с  $p$ - $n$ -переходом от напряжения.

Тема 3. Изучение переходной характеристики переключения полупроводникового диода из пропускного в запирающее состояние.

Тема 4. Изучение характеристик фотодиода.

Тема 5. Изучение вольт-амперной характеристики туннельного диода.

Тема 6. Исследование параметров диода Ганна.

Тема 7. Изучение статических характеристик биполярного транзистора.

Тема 8. Частотная зависимость коэффициента передачи транзистора.

Тема 9. Исследование характеристик полевого транзистора с  $p$ - $n$ -переходом в качестве затвора.

### **Практические работы**

Тема 1. Контактная разность потенциалов в  $p$ - $n$ -переходах.

Тема 2. Ширина и емкость  $p$ - $n$ -переходов.

Тема 3. Теории выпрямления полупроводниковых диодов.

Тема 4. Гетеропереходы.

Тема 5. Биполярные транзисторы.

Тема 6. Полевые транзисторы.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения устных и письменных опросов по теоретическому материалу, в ходе которых проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: РОБК 3.2 (Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе), РООПК 2.1 (Знает соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных и теоретических исследований)

Текущая аттестация по лабораторным и практическим работам направлена на проверку достижения обучающимися следующих результатов обучения: РООПК 2.2 (Умеет обрабатывать для получения обоснованных выводов и представлять полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований), РОПК 1.3 (Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов), РОПК 3.2 (Умеет проводить радиофизические измерения с использованием современных средств измерения и контроля).

Эта аттестация включает устные опросы обучающихся, выполнение ими лабораторных и практических заданий и представление по ним отчётов.

Результаты текущего контроля фиксируются в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

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**

Промежуточная аттестация в седьмом семестре проводится в форме устного экзамена по теоретическому материалу. К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущие аттестации по лабораторным работам и практическим занятиям. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Билет для экзамена содержит вопросы, позволяющие проверить достижение обучающимися следующих результатов обучения: РОБК 3.2 (Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил, принятых в профессиональном сообществе), РОПК 1.3 (Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов).

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 «Moodle» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=1821>

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

в) Методические указания по проведению лабораторных работ: <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=1821&section=15>

г) 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. Смирнов Ю. А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. – Изд. 2-е, испр. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. - 495 с. – Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). – URL: <https://e.lanbook.com/book/168550>

б) дополнительная литература:

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

2. Малянов С.В., Калыгина В.М. Сборник задач по физике биполярных полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 112 с.

2. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 463 с. – Электронный ресурс: Образовательная платформа Юрайт». – URL: <https://urait.ru/bcode/425163>

4. Гермогенов В.П. Материалы, структуры и приборы полупроводниковой оптоэлектроники: учебное пособие: для студентов старших курсов вузов / В.П. Гермогенов; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 271 с. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000511917>

в) ресурсы сети Интернет:

1. Гермогенов В.П., Вячислая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <http://lms.tsu.ru/course/view.php?id=1821>

2. Гермогенов В.П., Вячислая Ю.В. Полупроводниковая оптоэлектроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <http://lms.tsu.ru/course/view.php?id=1825> – доступ для обучающихся в ТГУ.

3. Полупроводниковые приборы (материалы клуба 155): электронный ресурс. – URL: <http://www.club155.ru/stintro>

4. Демонстрационные модели свойств полупроводников и полупроводниковых приборов (Purdue University, Gerhard Klimeck, Benjamin P Haley): электронный ресурс. – URL: <https://nanohub.org/resources/6842>

5. Светодиоды (иллюстрации Ф. Шуберта): электронный ресурс. – URL: <https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/>

6. Физика и техника полупроводников (научный журнал РАН): электронная версия. – URL: <https://journals.ioffe.ru/journals/2>

7. Новые полупроводниковые материалы. Характеристики и свойства: база данных ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – URL: <http://www.matprop.ru/>

8. Справочник по электронным компонентам. – URL: <http://kazus.ru/>

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

10. Scopus: база данных цитирования издательства Elsevier (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://www.scopus.com/>

11. Web of Science: база данных цитирования компании Clarivate Analytics (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://webofknowledge.com/WOS>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

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

3. пакет программного обеспечения PTC MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015).

4. пакет технологического проектирования SUPREM-IV.GS - Stanford TCAD.

5. 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/>  
– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>  
– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.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.

Учебная лаборатория полупроводниковой электроники на кафедре полупроводниковой электроники НИ ТГУ, где имеются маркерная доска, мультимедийный проектор с экраном, 9 компьютерных рабочих мест для обработки результатов и моделирования характеристик полупроводниковых приборов, а также приборы и установки для измерения характеристик полупроводниковых приборов: установка для измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов на базе источника-измерителя Keithley 2611В с компьютером; цифровой измеритель индуктивности, емкости и сопротивления Е7-12; лабораторная установка для изучения переходных процессов в полупроводниковых диодах, включающая генератор прямоугольных импульсов Г5–54 и осциллограф АКИП-4122/1V; характериограф TR-4805 для наблюдения вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов; лабораторная установка для измерения характеристик диодов Ганна; характериограф для наблюдения характеристик транзисторов Л2-100 ТЕКО; измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-1 с управляющим компьютером.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате («Актру»).

#### **15. Информация о разработчиках**

Алмаев Алексей Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, радиофизический факультет НИ ТГУ, кафедра полупроводниковой электроники.