

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

**Материалы и структуры функциональной электроники и фотоники**

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-1 Способен применять фундаментальные знания в области физики, радиофизики и радиоэлектроники для решения научно-исследовательских задач, в том числе в сфере педагогической деятельности;

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы, формулирует задачи в области радиофизики и радиоэлектроники и определяет пути их решения

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

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить понятийный аппарат в области материаловедения полупроводниковых структур и полупроводниковой электроники.

– 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 обязательной части образовательной программы.

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

Первый 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 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 18 ч.

-семинар: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

**Тема 1. Введение. Общие сведения о материалах электроники, электротехники и радиотехники.**

Задачи изучения дисциплины. Электрические свойства твёрдых тел. Поляризация диэлектриков. Пассивные и активные диэлектрики. Проводниковые материалы. Полупроводники. Магнитные материалы.

**Тема 2. Основные свойства полупроводниковых материалов.**

Энергетический спектр электронов в полупроводниках. Носители заряда. Дрейф и диффузия носителей. рекомбинация электронов и дырок. Оптические свойства. Барьерные структуры. Основные полупроводниковые материалы.

#### **Тема 3. Структуры кристаллов твёрдых тел.**

Пространственные решётки. Элементы симметрии. Символы узла, направления, плоскости. Классы симметрии кристаллов. Примеры кристаллических структур твёрдых тел. Симметрия и анизотропия физических свойств кристаллов.

#### **Тема 4. Химические связи в твёрдых телах.**

Состояния электронов в атоме. Типы химической связи. Ионная связь и её свойства. Ковалентная и ионно-ковалентная связи. Металлическая связь. Молекулярная связь.

#### **Тема 5. Дефекты кристаллической структуры.**

Классификация дефектов. Точечные дефекты. Влияние точечных дефектов на свойства полупроводника. Краевая и винтовая дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Дислокации в структурах алмаза и сфалерита. Влияние дислокаций на свойства полупроводников. Причины образования дислокаций.

#### **Тема 6. Фазовые равновесия и фазовые диаграммы**

Понятие о физико-химической системе. Термодинамическое равновесие. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы физико-химических систем. Расчёт и изображение состава в двухкомпонентной системе. Фазовые диаграммы двухкомпонентных систем.

#### **Тема 7. Компенсированные полупроводники и структуры на их основе.**

Понятие глубокого уровня. Проблема глубоких примесных уровней. Примеси переходных металлов в полупроводниках. Компенсация и самокомпенсация, степень компенсации. Уровень протекания в компенсированных полупроводниках. Основные свойства структур для детекторов ионизирующих излучений на основе компенсированного арсенида галлия. Структуры для быстродействующих импульсных переключателей на основе компенсированного арсенида галлия.

#### **Тема 8. Широкозонные полупроводники и структуры на их основе.**

Широкозонные полупроводниковые соединения. Нитриды галлия, алюминия и индия. Кристаллическая структура, симметрия решетки. Зонная структура. Спонтанная поляризация и пьезоэффект в гексагональных нитридах. Оптические и электрические свойства нитридов. Фосфиды галлия, алюминия, индия, их свойства. Оксид галлия. Гетероструктуры для излучающих приборов на основе широкозонных твёрдых растворов.

#### **Тема 9. Нелинейно-оптические кристаллы.**

Связь вектора поляризации с напряженностью электрического поля. Квадратичная и кубическая поляризация. Генерация электромагнитного поля волной поляризации. Условие согласования фаз. Генерация гармоник второго и третьего порядков. Свойства нелинейно-оптических кристаллов ( $\text{GaSe}$ ,  $\text{CdSiP}_2$ ) и их применение.

#### **Тема 10. Поликристаллические полупроводники и структуры.**

Поликристалл, кристаллиты и их границы раздела, энергетическая диаграмма поликристалла, закрепление уровня Ферми на границах раздела кристаллитов, электронная проводимость поликристаллов, уровень протекания. Структуры для сенсоров газа на основе поликристаллических полупроводников.

### **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-1.1 (Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы, формулирует задачи в области радиофизики и

радиоэлектроники и определяет пути их решения), ИОПК-3.1 (Осуществляет поиск научно-технической информации с использованием информационных технологий).

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 первом 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: ИОПК-1.1 (Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы, формулирует задачи в области радиофизики и радиоэлектроники и определяет пути их решения), ИОПК-3.1 (Осуществляет поиск научно-технической информации с использованием информационных технологий).

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>

3. Сорокин, В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-2003-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/168852>

4. 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>

б) дополнительная литература:

1. Хлудков С.С., Толбанов О.П., Вилисова М.Д., Прудаев И.А. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами / под ред. О.П. Толбанова. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 258 с.

2. 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.

3. 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>.

4. Стафеев, С. К. Основы оптики / С. К. Стафеев, К. К. Боярский, Г. Л. Башнина. - 2-е изд., испр. и доп.. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 336 с. - ISBN 978-5-8114-1495-6. - Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=32822](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=32822).

5. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштайн ; под ред. В.П. Зломанова ; пер. с англ. К.Н. Золотовой и Д.О. Чаркина. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. – 400 с.

6. Горелик С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для вузов / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: МИСИС, 2003. – 480 с.

7. Гаман В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров / В.И. Гаман. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 112 с.

8. Шуберт Ф. Светодиоды / Шуберт Ф.; пер. с англ. под ред. Э.А. Юновича. – 2-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.

9. Широкозонные полупроводники: учебное пособие для вузов / Ю.Г. Шретер, Ю.Т. Ребане, В.А. Зыков, В.Г. Сидоров ; под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. – СПб: Наука, 2001. – 123 с.

10. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики / И.Р. Шен, пер. с англ. И.Л. Шумая под редакцией С.А. Ахманова. - Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1989. - 557 с.

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 OneNote, 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**

Гермогенов Валерий Петрович, доктор физико-математических наук, Томский государственный университет, профессор.

Прудаев Илья Анатольевич, кандидат физико-математических наук, Томский государственный университет, доцент.