

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 микро- и нанoeлектроники

по направлению подготовки

03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки :
Радиофизика, электроника и информационные системы

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
М.Л. Громов

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-2 Способен проводить математическое моделирование процессов в приборах и устройствах радиофизики и электроники, владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ при решении профессиональных задач.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 2.1 Понимает принцип действия и модели разрабатываемого радиоэлектронного прибора или устройства.

ИПК 2.2 Применяет в профессиональной деятельности различные численные методы, в том числе реализованные в готовых библиотеках при решении конкретных радиофизических задач.

ИПК 2.3 Владеет современными пакетами программ при решении задач в области радиофизики и радиоэлектроники.

2. Задачи освоения дисциплины

– Формирование у студентов компетенций, связанных с применением материала текущей дисциплины для сравнения свойств материалов, используемых в приборах микро- и нанoeлектроники

– Научиться применять понятийный аппарат микро- и нанoeлектроники для решения практических задач: расчета параметров структуры твердых тел, анализа и прогнозирования характеристик веществ и приборов.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

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

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

Пятый семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Физика», «Радиоэлектроника».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

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

-лекции: 34 ч.

-практические занятия: 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

История развития микро- и нанoeлектроники. Предмет и содержание курса. Зонная теория твердых тел.

Тема 2. Химические связи

Таблица Д.И. Менделеева. Металлическая связь. Ковалентная и ионная связи.

Тема 3. Структура твердых тел

Структура твердых тел. Платоновы тела. Симметрия кристаллов. Пространственная решетка, символы узлов, плоскостей.

Тема 4. Рост кристаллов. Дефекты

Методы роста кристаллов модификации и изготовления материалов. Дефекты.

Тема 5. Растворы

Твердые полупроводниковые растворы.

Тема 6. Полупроводниковые материалы с кристаллической структурой

Классификация кристаллов по группам. Простые полупроводники. Полупроводниковые соединения

Тема 7. Некристаллические вещества

Аморфные вещества. Стекла. Композиционные материалы. Наноматериалы. Жидкие кристаллы.

Тема 8. Свойства материалов

Проводящие металлические и неметаллические материалы, их свойства. Полупроводниковые вещества и их свойства. Диэлектрики. Магнитные материалы.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов (коллоквиума) по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Примеры задач для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине:

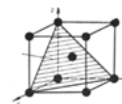
1. Рассчитать плотность идеального монокристалла CdS по ковалентным тетраэдрическим радиусам его компонентов.

2. По предварительным оценкам Тони Старка вибраниум (материал щита Капитана Америки) является металлическим твердым раствором вида $Al_xC_yBe_z$, при этом сохраняется структурный тип, присущий алюминию. Украдкой взвесив и измерив Щит, Тони получил массу 6 кг (1), 5.5 кг (2), 6.5 кг (3), а также диаметр и толщину 70 см и 10 мм. Верна ли его гипотеза?

Примеры вопросов для коллоквиума:

1. Приведите пример сложного полупроводникового соединения.
2. Что такое квазикристалл?
3. Перечислите известные типы химической связи.
4. Какова плотность упаковки кристалла со структурой типа алмаза?
5. Изобразите на рисунке примитивной кубической решетки кристаллографическое направление $[110]$.
6. Сколько в атомов среднем приходится на элементарную ячейку с решеткой типа меди?

7. Запишите индексы изображенной кристаллографической плоскости



8. Запишите электронную конфигурацию атомов С и Ag.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

1. При решении задач необходимо использовать справочный материал: таблицы физических постоянных и параметров полупроводниковых материалов:

<https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2395>;

<https://www.webelements.com/>;

<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/introduction.html>;

<http://www.matprop.ru/>;

<http://www.semiconductors.co.uk/>.

2. При самостоятельном изучении необходимо читать литературу по дисциплине, а также по направлению учебной практики; задействовать разные виды мышления для восприятия нового материала, а также формировать и совершенствовать свою интеллектуальную сферу деятельности. Развивать свой активный лексикон в устной и письменной речи. Для ускорения процессов восприятия теоретического материала по дисциплине в электронном учебном курсе по каждому разделу выложены ссылки на видео. Формат видео разнообразный: научно-популярные, лекции известных ученых, научные фильмы советских времен и др. В электронной образовательной среде MOODLE предоставлена рекомендуемая литература для самостоятельного чтения, некоторые учебники доступны для скачивания в электронном формате.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов, проверяющих ИПК 2.1, ИПК 2.2, ИПК 2.3. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

К экзамену допускаются только те студенты, которые успешно справились с текущей аттестацией по практическим занятиям и выполнили индивидуальный проект. Каждый экзаменационный билет содержит два вопроса. По желанию студента оценка за первый вопрос в билете может быть приравнена к оценке, которую студент получил за коллоквиум в середине курса лекций. При устном ответе на вопросы билета в случае использования студентом неточных формулировок, ошибочных представлений о каком-либо явлении (объекте), преподаватель задает студенту не более трех вопросов из списка дополнительных вопросов и (или) предлагает решить не более двух задач с целью однозначного определения уровня знаний.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Электропроводность, удельное сопротивление материала, подвижность и концентрация свободных носителей.

2. Монокристалл, поликристалл.

3. Элементы симметрии. В качестве примера взять гексаэдр.

4. Сингония.

5. Кристаллографическая система координат. Символ узла, ряда, плоскости. Индекс Миллера. Примеры.

6. Пространственная решетка сложная и простая. Базис ячейки. Кристаллическая структура. Решетка Бравэ.

7. Структурный тип, перечислить все известные Вам и назвать особенности каждого.

8. Плотность упаковки атомов.
9. Координационное число.
10. Период решетки.
11. Среднее число атомов на ячейку в структуре меди, алмаза, сфалерита, вюрцита и каменной соли.
12. Зонная теория для твердых тел.
13. Атомный и ионный радиус. Анион. Катион.
14. Легирование. Донорная примесь. Акцепторная примесь.
15. Дефекты. Классификация по мерности. Примеры.
16. Дефекты Френкеля и Шоттки.
17. Где в таблице Менделеева расположены полупроводниковые элементы. Наиболее используемые элементарные полупроводники.
18. Средний атомный номер соединения. Элементы, используемые как легирующие примеси (принцип). Правило вертикали/горизонталаи.
19. Понятие наноразмерного объекта. Фуллерен. Углеродная нанотрубка. Графен. Квантовая точка. Квантовая яма. Квантовая нить.
20. Перечислить виды химической связи. Назвать принцип формирования одного из видов химической связи.
21. Органические полупроводники, примеры.
22. Сходства и различия веществ: стекло обыкновенное, ситалл, керамика, кварц, сапфир.
23. Твердый раствор. Мольная доля элемента. Примеры.
24. Методы роста полупроводниковых кристаллов. Суть и особенности каждого.
25. Полупроводниковые материалы, перечислить, знать преимущества, недостатки, область использования, степень изученности.
26. Что такое зона проводимости и валентная зона, как и из чего они образованы.
27. Перечислить прямозонные и непрямозонные полупроводники.
28. Наиболее используемые бинарные полупроводниковые соединения. Свойства, особенности, применение.
29. Аморфные материалы, свойства, особенности, примеры.
30. Жидкие кристаллы, примеры.
31. Композиционные материалы.
32. Основные свойства металлов.
33. Основные свойства полупроводников.
34. Основные свойства диэлектриков.
35. Магнитные материалы.
36. Неметаллические материалы.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» в соответствии с таблицей.

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
ПК-2 Способен проводить математическое моделирование процессов в приборах и устройствах радиофизики и электроники, владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ при решении профессиональных задач.	ИПК 2.1 Понимает принцип действия и модели разрабатываемого радиоэлектронного прибора или устройства.	Отсутствие представлений по ключевым аспектам дисциплины: неспособность дать в устной или письменной форме краткий ответ на вопросы, не содержащие сравнения, анализа, вывода, систематизации, материала по дисциплине; не возможность описать суть физического явления или процесса, привести примеры.	Студент способен воспроизвести в устной или письменной форме частично или полностью услышанный, прочитанный и увиденный материал по курсу лекций текущей дисциплины. Объясняет теоретические принципы формирования структур, материалов. Не может анализировать свойства материалов и сравнивать их друг с другом.	Прекрасно владеет теоретическими знаниями по дисциплине. Может собрать и структурировать в единую логическую цепочку причинно-следственные связи между структурой вещества и свойствами прибора на основе данного вещества. Способен анализировать, сравнивать различные материалы друг с другом. Не может оценить свойства физической модели, подобрать материал для создания прибора с заданными параметрами.	Прекрасно владеет теоретическими знаниями по дисциплине. Способен оценивать материал для применения его в создании приборов разного назначения. Прогнозировать свойства того или иного прибора, опираясь на характеристики материала, из которого он изготовлен. Способен предложить материал для создания прибора с заданными параметрами.
	ИПК 2.2 Применяет в профессиональной деятельности различные численные методы, в том числе реализованные в готовых библиотеках при решении конкретных радиофизических задач.	У обучающегося отсутствует представление о существующих информационно-справочных системах, базах данных и математических пакетах, необходимых для анализа свойств материалов, применения их в своей профессиональной деятельности и решений задач.	Обучающийся имеет представление об информационно-справочных системах, базах данных, математических пакетах.	Свободное использование информационно-справочных систем, баз данных, математических пакетов для решения задач. Возможны неточности при построении модели (объект для расчета), но ход решения и аналитическое описание решения задачи верные. Полученные результаты могут содержать численные ошибки, а также могут быть неправильно истолкованы студентом.	Высокая степень эрудиции, начитанность, пространственное воображение и смекалка позволяют студенту справляться с нестандартными задачами. Свободное использование информационно-справочных систем, баз данных, математических пакетов для решения задач и владение теоретическим материалом по дисциплине позволяют правильно описать поставленную задачу, решить ее и проанализировать полученные результаты.
	ИПК 2.3 Владеет современными пакетами программ при	Не способен создать модель и провести математические расчеты, описывающие	Способен применить теоретические знания на практике. Может	Студент может представить и изобразить объект исследования / создать модель /	Способен создать модель и провести математические расчеты в средах Microsoft Office

	решении задач в области радиофизики и радиоэлектроники	характеристики материала. Отсутствие выполненных регулярных индивидуальных и/или групповых заданий.	математически описать объект исследования. При решении задачи у студента вызывает трудности аналитическая часть. Испытывает сложности при описании полученных результатов расчета.	трехмерную кристаллическую структуру и произвести вычисления искомых величин в средах Microsoft Office Excel и/или SMath Studio. Может решать задачи среднего уровня сложности. Допускает мелкие неточности при описании модели, в ходе решения и полученных результатах.	Excel и/или SMath Studio.. Может решать задачи любого уровня сложности, грамотно описывая аналитически весь ход решения и полученные результаты.
--	--	---	--	---	--

11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2395>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (п. 9, 10).
- в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (п.9).

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Покровская М. В. Материалы и элементы конструкций РЭС. Часть 1. Материаловедение и конструкционные материалы / Покровская М. В., Попова Т.А. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2021. – 200 с. – Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). – URL: <https://e.lanbook.com/book/182538>
2. 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.: ил., табл. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000511917>.

б) дополнительная литература:

1. Медведев С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов: Учебн. Пособие для специальности «Полупроводники и диэлектрики» вузов / С.А. Медведев. – М., «Высшая школа», 1970. – 504 с.
2. Андриевский, Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы : монография / Р. А. Андриевский. — 2-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, 2014. — 255 с. — ISBN 978-5-9963-2517-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/66209> (дата обращения: 17.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Рощин, В. М. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники : учебное пособие : в 2 частях / В. М. Рощин, М. В. Силибин. — 3-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, [б. г.]. — Часть 2 — 2015. — 183 с. — ISBN 978-5-9963-2567-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/66214> (дата обращения: 17.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Раскин, А. А. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники : учебное пособие : в 2 частях / А. А. Раскин, В. К. Прокофьева. — 3-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, [б. г.]. — Часть 1 — 2015. — 167 с. — ISBN 978-5-9963-2566-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/66213> (дата обращения: 17.12.2021). — Режим доступа: для авториз. Пользователей.

5. Задачи по физической химии: задачник / Сост. В.П. Гермогенов, Н.Н. Иванова. — Томск: Томский госуниверситет, 2009. — 34 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Материалы микро- и наноэлектроники : учебно-методический комплекс : [для студентов вузов по направлению 011800 "Радиофизика"] [Электрон. ресурс] // Национальный исследовательский томский государственный университет. URL: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2395>.

2. WebElements: the periodic table on the WWW [Электрон. ресурс]: Периодическая система с физическими и химическими свойствами элементов // 1993-2021 [Mark Winter \[The University of Sheffield and WebElements Ltd, UK\]](http://www.webelements.com/). - URL: <https://www.webelements.com/>, доступ свободный.

3. Новые полупроводниковые материалы: характеристики и свойства [Электрон. ресурс] // Интернет-сайт ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН, 1998-2001. — URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroductio.html>, доступ свободный

4. Bibliografic database on Semiconductors, Heterostructures and Biophysics [Электрон. ресурс]: Библиографическая база данных по полупроводникам, гетероструктурам и биофизике // URL: <http://www.matprop.ru/>.

5. THE SEMICONDUCTORS-INFORMATION WEB-SITE [Электрон. ресурс]: База данных физических свойств полупроводниковых материалов // URL: <http://www.semiconductors.co.uk/>

6. Учебно-контролирующий комплекс по электротехническим материалам [Электрон. ресурс] / Кафедра ФЭМАЭК, МЭИ, 2006. — Электрон. дан. // URL: <http://ftemk.mpei.ac.ru/ukk/ukk.htm>, доступ свободный.

7. Surface Explorer [Электрон. ресурс]: визуализатор кристаллических структур // [Klaus Hermann \(FHI\)](http://surfexp.fhi-berlin.mpg.de/). // URL: <http://surfexp.fhi-berlin.mpg.de/>, доступ свободный.

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

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

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

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

12. 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:

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

- электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE;

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

- 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/>
 - 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.

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

15. Информация о разработчиках

Яскевич Тамара Михайловна, к.ф.-м.н., радиофизический факультет НИ ТГУ, старший преподаватель.