

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Углеродная электроника и фотоника

по направлению подготовки

03.04.03 Радиофизика, 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки :
Цифровые технологии фотоники и радиофизики

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.П. Коханенко

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 углеродной электроники и фотоники.

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.2 Проводит поиск и анализ научно-технической информации и патентной документации, отечественного и зарубежного опыта в выбранной области углеродной электроники и фотоники.

ИПК 1.3 Представляет информацию в систематизированном виде, формулирует цель исследования в выбранной области углеродной электроники и фотоники.

ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области углеродной электроники и фотоники.

ИПК 3.2 Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач в области углеродной электроники и фотоники.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить аппарат физики электронных и оптоэлектронных свойств кристаллического углерода в основных аллотропных модификациях и понимать принципы работы основных типов приборов и устройств углеродной электроники и фотоники.

– Научиться применять понятийный аппарат углеродной электроники и фотоники для предсказания электрических и оптических характеристик электронных и оптоэлектронных структур на основе кристаллического углерода, и 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.

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: 18 ч.

– семинары: 18 ч.

в том числе практическая подготовка: 18 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Аллотропные формы углерода

Виды гибридизации химических связей. Возможные причины и особенности гибридизации углерода, кремния и германия. Аллотропные формы углерода в зависимости от вида гибридизации валентных орбиталей. sp^2 - и sp^3 -формы углерода в электронике и фотонике.

Тема 2. Алмаз в электронике и фотонике

Электрические и оптические свойства алмаза. Синтез, легирование, ионная имплантация и радиационно-термическая обработка алмаза. Электрические контакты к алмазу. Электронные устройства и элементы питания на основе алмаза. Фотонно-кристаллические зеркала. Алмазные оптоэлектронные устройства и однофотонные источники. Алмазные лазеры и мазеры. Квантовые сенсоры и квантовые вычисления на основе алмаза. Фотонные интегральные схемы на основе алмаза. Фотонные кристаллы на основе алмаза.

Тема 3. Графен в электронике и фотонике

Электронные и оптические свойства графена и его производных. Синтез и функционализация графена и его производных. Электронные и оптоэлектронные устройства на основе графена и его производных. Приложения в биотехнологиях и медицине.

Тема 4. Углеродные нанотрубки в электронике и фотонике

Виды углеродных нанотрубок. Электронные и оптические свойства углеродных нанотрубок. Синтез углеродных нанотрубок. Применение углеродных нанотрубок в электронике и фотонике.

Тема 5. Гибридные sp^2 - sp^3 устройства в электронике и фотонике

Формирование sp^2 - sp^3 углеродных гетероструктур. Гибридные sp^2 - sp^3 углеродные устройства.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения устных опросов, тестов по лекционному материалу, выполнения практических заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Самостоятельная работа студентов состоит в изучении теоретического материала, выполнении тестов с возможностью работы над ошибками, подготовке к семинарским занятиям, выполнении домашней работы по решению задач.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Вопросы проверяют ИПК 2.1, ИПК 2.2, ИПК 3.1. Ответы на вопросы даются в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических и практических вопросов:

1. Виды гибридизации химических связей.
2. Особенности гибридизации орбиталей в кристаллах углерода, кремния и германия.
3. Аллотропные формы углерода в зависимости от вида гибридизации валентных орбиталей.
4. Методы синтеза алмаза.
5. Электрические и оптические свойства алмаза.
6. Свободные экситоны в алмазе и их влияние на биполярную проводимость.
7. Легирование алмаза P- и N- типа в процессе синтеза и ионной имплантации.

8. Влияние примесно-дефектных комплексов на электрические и оптические свойства алмаза.
9. Радиационно-термическая обработка алмаза.
10. Электрические контакты к алмазу.
11. P-N и P-I-N переходы и устройства на основе алмаза.
12. Барьерные контакты и диоды Шоттки на основе алмаза.
13. Радиоактивные элементы питания на основе алмаза.
14. Фотонно-кристаллические зеркала на основе алмаза и оксидов металлов для алмазных оптоэлектронных устройств.
15. Алмазные УФ фотодетекторы.
16. Алмазные детекторы ионизирующих излучений.
17. Алмазные сцинтилляторы и визуализаторы рентгеновского излучения.
18. Алмазные оптоэлектронные коммутаторы.
19. Алмазные светоизлучающие устройства на основе электролюминесценции.
20. Алмазные лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния (рамановские лазеры).
21. Алмазные лазеры на центрах окраски.
22. Алмазные мазеры.
23. Квантовые сенсоры на центрах окраски алмаза.
24. Алмазные квантовые компьютеры. Возможности реализации.
25. Фотонные интегральные схемы на основе алмаза.
26. Фотонные кристаллы на основе алмаза.
27. Электронные и оптические свойства графена и его производных.
28. Синтез и функционализация графена и его производных.
29. Электронные и оптоэлектронные устройства на основе графена и его производных.
30. Приложения графена и его производных в биотехнологиях и медицине.
31. Виды углеродных нанотрубок.
32. Электронные и оптические свойства углеродных нанотрубок.
33. Синтез и функционализация углеродных нанотрубок.
34. Применение УНТ в электронике и фотонике.
35. Формирование sp^2 - sp^3 углеродных гетероструктур.
36. Гибридные sp^2 - sp^3 углеродные устройства.

Студент, не аттестованный в контрольной точке, не допускается к сдаче зачета.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи.	ИПК-2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы.	Не владеет современными методами изучения, анализа информации в области электроники и фотоники.	Владеет современными методами изучения, анализа информации в области электроники и фотоники.
		Не обладает базовыми знаниями, необходимыми для определения параметров и функций разрабатываемых устройств углеродной электроники и фотоники.	Обладает всеми базовыми знаниями, необходимыми для определения параметров и функций разрабатываемых устройств углеродной электроники и фотоники.
	ИПК-2.2 Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы.	Не владеет современными теоретическими моделями и не имеет представление об экспериментальном оборудовании для исследования устройств углеродной электроники и фотоники.	Владеет современными теоретическими моделями и имеет представление об экспериментальном оборудовании для исследования устройств углеродной электроники и фотоники.
		Не умеет проводить обработку исходных данных и результатов расчетов параметров устройств углеродной электроники и фотоники.	Умеет проводить обработку исходных данных и результатов расчетов параметров устройств углеродной электроники и фотоники.
ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач.	ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач.	Не умеет предсказывать спектры излучения и вольтамперные характеристики устройств углеродной электроники и фотоники.	Умеет предсказывать спектры излучения и вольтамперные характеристики устройств углеродной электроники и фотоники.
		Не умеет определять электрофизические и оптические свойства устройств углеродной электроники и фотоники.	Умеет определять электрофизические и оптические свойства устройств углеродной электроники и фотоники.

11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle».
- 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:
 - Хмельницкий Р.А., Талипов Н.Х., Чучева Г.В. Синтетический алмаз для электроники и оптики / ред. Хмельницкий Р.А. – М.: Издательство ИКАР, 2017. – 228 с.
 - Углеродная фотоника / ред. В.И.Конов. – М.: Наука, 2017. – 327 с.
- б) дополнительная литература:
 - Алексеев Н.И., Лучинин В.В. Электроника алмаза: учебное пособие / Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). – Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2019. – с.
 - Вавилов В.С. Алмаз в твердотельной электронике // Успехи физических наук, 1997. – Т. 167. – №1. – С.17-22.
 - Бокий Г.Б., Безруков Г.Н., Ключев Ю.А., Налетов А.М., Непша В.И. Природные и синтетические алмаз // М.: Наука, 1986. – 222 с.
 - Вечерин П.П., Журавлев В.В., Квасков В.Б. и др. Природные алмазы России / ред. Кваскова В.Б. – М.: Полярон, 1997. – 302 с.
 - Walker J. Optical absorption and luminescence in diamond // Reports on progress in physics, 1979. – V 42. – P. 1607-1659.
 - Zaitsev A.M. Optical properties of diamond: A data handbook. – Berlin: Springer-Verlag, 2001. – 502 p.
 - Teofilov N. Optical investigations on the wide bandgap semiconductors - diamond and aluminumnitride // Dissertation des Dr. rer. nat., Universitat Ulm, 2007. – 122 p.
 - Dobrinets I.A., Vins V.G., Zaitsev A.M. HPHT-Treated Diamonds // Springer Series in Materials Science, 2013. – V. 181. – 270 p.
 - Araujo D., Suzuki M., Lloret F., Munoz G.A., Villar M.P. Diamond for electronics: materials, processing and devices // Materials, 2021. – V. 14. – 7081.

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

Липатов Евгений Игоревич, кандидат физико-математических наук, Томский государственный университет, доцент.