

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Оценочные материалы по дисциплине

Углеродная электроника и фотоника

по направлению подготовки / специальности

03.04.03 Радиофизика, 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:
Цифровые технологии фотоники и радиофизики

Форма обучения

Очная

Квалификация

инженер-исследователь

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А.П. Коханенко

Председатель УМК

А.П. Коханенко

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

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 профессиональной деятельности.

ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи.

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОПК 1.1 Формулирует проблему и определяет предметную область исследования.

РОПК 2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы.

РОПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- письменный опрос,
- семинар.

Письменный опрос (ИОПК-1.1)

Письменный опрос состоит из 3-4 вопросов в конце каждой лекции.

Примерный перечень вопросов:

1. Найдите длину волны де Бройля для электрона на орбитале атома углерода.
2. Предложите свой вариант причины преимущественной sp^2 -гибридизации углерода в отличие от преимущественной sp^3 -гибридизации кремния при нормальных условиях.
3. Поясните смысл бесфонной линии и фонного крыла? Почему они не наблюдаются для замещающего азота?
4. Каковы основные отличия алмаза от традиционных полупроводников?
5. Какие методы используют для синтеза алмаза? В чем их принципиальные различия?
6. Какие процессы участвуют в радиационно-термической обработке алмазов? Для чего это нужно?
7. Как регулировать положение уровня Ферми в алмазе?
8. Как изготовить полупроводниковый прибор на основе GaN на алмазном теплоотводе?
9. Какие области применения МЭМС на основе алмаза?
10. Каковы причины для использования алмаза в высокотемпературной электронике?
11. Какие металлы следует применять в алмазных диодах Шоттки?
12. Чем алмазный p-i-n диод предпочтительнее p-n диода?
13. Дайте определение алмазному оптоэлектронному устройству.
14. Какая основная причина, сдерживающая развитие алмазных оптоэлектронных устройств?
15. Как эту причину можно преодолеть? Для светоизлучающих устройств? Для электропроводящих устройств?
16. Что такое рамановский лазер?
17. На каких центрах окраски показана лазерная генерация?

18. Какие возможны применения алмазных лазеров?
19. Какой принцип работы алмазного лазера?
20. Что такое спиновое расщепление электронных уровней?
21. Что такое ОДМР? Как с помощью ОДМР в центрах окраски алмаза измерить внешнее магнитное поле?
22. Какие центры окраски алмаза наиболее перспективны для квантовой сенсорики и вычислений? И почему?
23. Какие трудности имеют место быть для развития алмазных фотонных интегральных схем?
24. С какими материалами возможны гибридные ФИС на основе алмаза?
25. Каково отличие электронных и оптических свойства графена от аналогичных свойств его производных?
26. Какие методы используют для синтеза и функционализации графена и его производных?
27. Назовите применения графена и его производных в электронике, биотехнологиях и медицине.
28. Какие методы используют для синтеза углеродных нанотрубок (УНТ)?
29. Опишите основные электронные и оптические свойства УНТ.
30. Назовите применения УНТ в электронике и фотонике.
31. Какие методы используют для формирования sp^2 - sp^3 углеродных гетероструктур?
32. Предложите свои варианты гибридных sp^2 - sp^3 углеродных устройств.

Критерии оценивания:

Результаты устного опроса определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если даны правильные ответы на все вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если не дан ответ на один вопрос.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если не даны ответы на два вопроса.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не дан ответ ни на один вопрос.

Семинар (ИОПК-1.1)

Семинар состоит из докладов обучающихся по темам на выбор:

1. Электронные и оптические свойства алмаза,
2. Синтез, легирование, ионная имплантация и радиационно-термическая обработка алмаза,
3. Электронные устройства и элементы питания,
4. Алмазные оптоэлектронные устройства и однофотонные источники,
5. Алмазные лазеры и мазеры,
6. Квантовые сенсоры и квантовые вычисления на основе алмаза,
7. Фотонные интегральные схемы на основе алмаза.

Необходимо подготовить презентацию из 5-7 слайдов по выбранной теме (без учёта титульного слайда) и сделать доклад на 10 минут на семинарском занятии.

Критерии оценивания:

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

Оценка «зачтено» выставляется, если в презентации и докладе отсутствовали фактические ошибки.

Оценка «не зачтено» выставляется, если в презентации и докладе имелись фактические ошибки.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме устного зачета, состоящего из трех вопросов.

Первая часть содержит один вопрос, проверяющий РОПК 1.1. Ответ на вопрос дается в развернутой форме.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий РОПК 2.1. Ответ на вопрос дается в развернутой форме.

Третья часть содержит один вопрос, проверяющий РОПК 3.1. Ответ на вопрос дается в развернутой форме.

В случае прохождения текущего контроля с оценкой «отлично» или «хорошо» студент освобождается от вопроса из первой части.

Перечень теоретических 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.

Критерии оценивания:

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

Оценка «зачтено» выставляется, если даны правильные развернутые ответы на все теоретические вопросы.

Оценка «не зачтено» выставляется, если студент затрудняется с ответами на теоретические вопросы.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Теоретические вопросы:

1. В чем отличие и сходство электронных и оптических свойств алмаза и традиционных полупроводников (кремний, германий, арсенид галлия, нитрид галлия и др.)?
2. Опишите основные отличия алмаза, синтезированного методом температурного градиента, и алмаза, синтезированного методом газохимического осаждения.
3. Какие элементы периодической таблицы встраиваются в алмазную решетку, формируя оптически и электрически активные центры?
4. Опишите особенности ионной имплантации легирующих элементов в алмаз.
5. Назовите основные особенности радиационно-термической обработки алмаза для формирования NV-центров.
6. Назовите основные электронные устройства на основе алмаза.
7. Опишите физические эффекты и принципиальное устройство ядерных элементов питания на основе алмаза.
8. Опишите основные оптоэлектронные устройства на основе алмаза.
9. Опишите физические принципы, используемые при создании однофотонных источников на основе алмаза?
10. В чём преимущество однофотонных источников на основе алмаза?
11. Назовите центры окраски перспективные для создания алмазных лазеров с оптической накачкой? С электрической накачкой?
12. Опишите принцип работы алмазного лазера на NV-центрах.
13. На каких физических принципах работают алмазные квантовые сенсоры?
14. Каковы трудности реализации двухкубитных квантовых вычислений на основе NV-центров в алмазе?
15. В чём преимущество фотонных интегральных схем на основе алмаза перед традиционными на основе кремния и его соединений? В чем недостатки?
16. Опишите основные особенности электронных и оптических свойств графена? Его производных.
17. Опишите отличия газохимического осаждения графена и алмаза.
18. Назовите методы функционализации графена?
19. Опишите основные особенности электронных и оптических свойств УНТ.
20. Опишите отличия газохимического осаждения графена и УНТ.
21. Возможно ли совместить газохимическое осаждение графена и алмаза?

Информация о разработчиках

Липатов Евгений Игоревич, кандидат физико-математических наук, Томский государственный университет, радиофизический факультет, кафедра квантовой электроники и фотоники, доцент.