

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор РХТУ им. Д.И. Менделеева

\_\_\_\_\_ В.А. Колесников

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников**  
**высшей школы**

по направлению  
«ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ»

**на базе учебного курса**  
**«Строение, свойства и применения углеродных нанотрубок»**

Цель Изучение принципов строения и функционирования нанотрубок в технике

Категория слушателей преподаватели и научные работники высшей школы

Примерный срок обучения 24 часа

Форма обучения с частичным отрывом от работы

Режим занятий 8 часов в день

**Целью данного курса является** ознакомление с основными принципами и особенностями структуры, электронного строения, методов получения и использования нанотрубок в нанотехнологии. Рассмотрены принципы конструирования молекулярных транзисторов, диодов, логических элементов, ячеек памяти, химических сенсоров, эмиссионных оптических и рентгеновских источников излучения, электромеханических преобразователей, нанорадиоприемника и термоакустического громкоговорителя на пленках из нанотрубок.

**Требования к уровню освоения учебного курса**

**Преподаватели должны:**  
**знать:**

- строение простейших углеродных нанотрубок и аллотропические формы углерода;
- основные физико-химические и электронные свойства углеродных нанотрубок и способы их модификации;
- классификацию основных способов получения нанотрубок;

- основные области использования углеродных нанотрубок и методы их идентификации.

**иметь навыки:**

- самостоятельно ориентироваться в литературе, посвященной углеродным нанотрубкам;
- видеть взаимосвязь науки об углеродных наноматериалах с другими естественнонаучными и инженерными дисциплинами.

**иметь представление:**

- об электрических, магнитных, оптических и квантовых свойствах нанотрубок;
- об общих принципах построения транзисторов, диодов, эмиссионных и электромеханических устройств на углеродных нанотрубках;
- о катализаторах и сырье, используемых в синтезе УНТ;

**Научные работники должны**

**знать:**

- строение простейших углеродных нанотрубок и аллотропические формы углерода;
- основные физико-химические и электронные свойства углеродных нанотрубок и способы их модификации;
- основных способов получения нанотрубок;
- основные области использования углеродных нанотрубок и методы их идентификации.

**Иметь навыки:**

- самостоятельно ориентироваться в литературе, посвященной углеродным нанотрубкам;
- прогнозирования свойств нанотрубок в зависимости от их строения;
- видеть взаимосвязь науки об углеродных наноматериалах с другими научными дисциплинами, формулировать перспективы развития теоретических и практических аспектов развития науки об углеродных наноматериалах.

**Иметь представление:**

- об общей классификации углеродных материалов, об условиях образования и общепринятых механизмах роста нанотрубок;
- о преимуществах и недостатках практически используемых методов синтеза и модификации нанотрубок;
- о катализаторах и сырье, используемых в синтезе нанотрубок;
- о физико-химических методах анализа нанотрубок;
- о зависимостях электрических, оптических, магнитных и сверхпроводящих свойств нанотрубок от их строения;
- об общих принципах конструирования молекулярных электронных устройств на нанотрубках;
- о принципах работы транзисторов, диодов эмиссионных и электромеханических устройств на нанотрубках

Учебный курс "Углеродные наноматериалы" состоит из дистанционной и очной частей.

**Дистанционная часть** учебного курса обеспечивает слушателя необходимым объемом знаний по выбранной тематике. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному обсуждению рефератов по выбранным темам и посещению специализированной лаборатории в РХТУ им.Д.И. Менделеева для проведения лабораторного практикума. Дистанционная часть учебного курса составляет 12 часов учебной нагрузки и включает теоретическую (лекционную) часть и тестирование.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены теоретические основы строения, описаны свойства нанотрубок и способы их использования в различных устройствах.

Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций.

### **Содержание лекционного курса**

#### **ЛЕКЦИЯ 1. СТРОЕНИЕ И ПОЛУЧЕНИЕ НАНОТРУБОК**

Аллотропические формы углерода. Алмаз. Графит. Графен. Карбин. Фуллерены. Нанотрубки. Получение и строение нанотрубок. Разрядно-дуговой метод. Метод химического осаждения из пара. Метод лазерной абляции. Управляемый рост упорядоченных рядов углеродных нанотрубок. Длинные нити из нанотрубок. Самые тонкие нанотрубки. Кольца из нанотрубок. Заточка многослойных нанотрубок.

## ЛЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОТРУБОК

Металлы и полупроводники. Электронное строение нанотрубок по данным квантовой химии и  $\pi$ -электронных расчетов. Измерения электропроводности. Квантовые провода. Баллистический транспорт. Перенос электронного спина. Эффект Ааронова-Бома и магнетосопротивление. Индуцированная сверхпроводимость. Собственная сверхпроводимость. Орбитальный момент. Спин-орбитальное взаимодействие

## ЛЕКЦИЯ 3. НАНОТРУБОКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Диоды. Выпрямление на изогнутой нанотрубке. Y- и T-образное соединения нанотрубок. Выпрямление на межмолекулярном переносе электронов. Транзисторы. Полевой транзистор. Транзистор на кольцевой нанотрубке. Модуляции потенциала в полевом транзисторе. Канальный транзистор. Одноэлектронный транзистор. Метод конструктивного разрушения. Интерференция Фабри-Перо

## ЛЕКЦИЯ 4. НАНОТРУБОКИ В ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ, ЭМИССИОННЫХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Электронные логические элементы на нанотрубках. Простейшие логические схемы. Инвертор. Чипы с логическими элементами. Светодиод. Память на нанотрубках. Элемент на полевом транзисторе. Оптоэлектронный элемент. Эмиссионные приборы. Индикаторы и плоские экраны. Выпрямитель. Электронный пучок для микроскопа. Рентгеновское излучение. Ионизационный сенсор для газов

## ЛЕКЦИЯ 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Механические и электромеханические эффекты. Сверхпрочность. Деформация под действием поля. Влияние механической нагрузки на электрические свойства. Наноосцилляторы. Радио. Нановесы. Громкоговоритель.

**Очная часть** учебного курса представляет собой обсуждение рефератов по выбранным темам и ознакомительное посещение специализированной лаборатории РХТУ им.Д.И.Менделеева (или выполнение лабораторных работ на специализированном оборудовании кафедры). Задача очной части курса – углубление и закрепление информации, освоенной в ходе дистанционной части курса, включая знакомство с современной лабораторией по технологии углеродных материалов. Очная часть учебного курса составляет 12 часов учебной нагрузки.

### **Методические рекомендации по реализации учебной программы.**

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 12 часов соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru). Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

### **Тестовые вопросы к курсу "Строение, свойства и применения углеродных нанотрубок"**

#### **Лекция 1. Строение и получение нанотрубок**

**Вопрос 1.** Графеновые слои являются структурным элементом:

1. Алмаза; 2. Графита; 3. Фуллерена; 4. Карбина.

Ответ:

**Вопрос 2. Атомы углерода в нанотрубке имеют:**

1.  $sp^3$  – гибридизацию, 2.  $sp^2$  – гибридизацию, 3.  $sp$  – гибридизацию,
4. Не образуют гибридных орбиталей.

Ответ:

**Вопрос 3. Наличие внутренней цилиндрической полости характерно для:**

1. Алмаза, 2. Фуллерена, 3. Углеродной нанотрубки, 4. Карбина.

Ответ:

**Вопрос 3. Наличие внутренней сферической полости характерно для:**

1. Алмаза, 2. Фуллерена, 3. Углеродной нанотрубки, 4. Карбина.

Ответ:

**Вопрос 5 Нитевидными в материаловедении принято считать образования, длина которых превышает диаметр:**

1. В 2 раза, 2. В 10 раз, 3. В 20 раз, 4. Более чем в 100 раз.

Ответ:

**Вопрос 6. Фуллерены – это молекулы, состоящие из углерода и образующие оболочки:**

1. Из 4- и 5-угольников, 2. из 5- и 6-угольников, 3. из 4- и 6-угольников, 4. из 5- и 7-угольников.

Ответ:

**Вопрос 7. Сколько форм ахиральных цилиндрических нанотрубок существует?**

1. Одна, 2. Две, 3. Три, 4. Ахиральные нанотрубки не существуют.

Ответ:

**Вопрос 8. Получение нанотрубок химическим осаждением из газовой фазы проводят:**

1. Без использования катализаторов, 2. С использованием катализаторов, 3. При комнатной температуре. 4. При доступе воздуха.

Ответ:

**Вопрос 9. Активной фазой катализаторов синтеза нанотрубок являются:**

1. s-элементы, 2. p-элементы, 3. d-элементы, 4. смесь s- и p-элементов.

Ответ:

**Вопрос 10. Очистка УНТ проводится с целью:**

1. Удаления нетрубчатых форм углерода и катализатора, 2. Удаления адсорбированных газов, 3. Выпрямления нанотрубок, 4. Последующего разделения хиральных и ахиральных нанотрубок.

Ответ:

## **Лекция 2. Электронные свойства нанотрубок**

**Вопрос 1. Нанотрубки типа кресло обладают типом проводимости:**

1. Металлическим; 2. Полупроводниковым; 3. Металлическим; или полупроводниковым в зависимости от диаметра.

Ответ:

**Вопрос 2. Нанотрубки типа зигзаг обладают типом проводимости:**

1. Металлическим; 2. Полупроводниковым; 3. Металлическим; или полупроводниковым в зависимости от диаметра.

Ответ:

**Вопрос 3. Нанотрубки типа зигзал обладают типом проводимости:**

1. Металлическим; 2. Полупроводниковым; 3. Металлическим; или полупроводниковым в зависимости от диаметра; 4. Металлическим; или полупроводниковым в зависимости от хиральности; 5. Металлическим; или полупроводниковым в зависимости от диаметра и хиральности.

Ответ:

**Вопрос 4. Электропроводность нанотрубок можно измерить с помощью:**

1. ИК спектроскопии; 2. ЯМР спектроскопии; 3. Электронной трансмиссионной микроскопии; 4. Сканирующей трансмиссионной спектроскопии

Ответ:

**Вопрос 5.** Индуцированная сверхпроводимость нанотрубок указывает на образование куперовских пар:

1. В нанотрубке; 2. В материале электрода; 3. На границе нанотрубка-электрод; 4. В вакууме

Ответ:

**Вопрос 5.** Собственная сверхпроводимость нанотрубок указывает на образование куперовских пар:

1. В нанотрубке; 2. В материале электрода; 3. На границе нанотрубка-электрод; 4. В вакууме

Ответ:

### **Лекция 3. Нанотрубки для электроники**

**Вопрос 1.** В диоде используется нанотрубка:

1. Металлическая; 2. Полупроводниковая; 3. Или металлическая, или полупроводниковая; 4. Одновременно и металлическая и полупроводниковая

Ответ:

**Вопрос 2.** Диод на нанотрубка используется для:

1. Повышения тока через нанотрубку; 2. Понижения тока через нанотрубку; 3. Пропускания тока через нанотрубку в одном направлении; 4. Пропускания тока через нанотрубку в двух направлениях; 5. Повышения или понижения тока через нанотрубку в зависимости от потенциала затвора;

Ответ:

**Вопрос 3.** Транзистор на нанотрубка используется для:

1. Повышения тока через нанотрубку; 2. Понижения тока через нанотрубку; 3. Пропускания тока через нанотрубку в одном направлении; 4. Пропускания тока через нанотрубку в двух направлениях; 5. Повышения или понижения тока через нанотрубку в зависимости от потенциала затвора;

Ответ:

**Вопрос 4.** В полевом транзисторе на нанотрубка используется:

1. Металлическая нанотрубка. 2. Полупроводниковая нанотрубка.

Ответ:

**Вопрос 5.** В одноэлектронном транзисторе на нанотрубка используется:

1. Металлическая нанотрубка; 2. Металлическая нанотрубка 3 Длинная металлическая нанотрубка; 4 Короткая металлическая нанотрубка; 5. Длинная полупроводниковая нанотрубка; 6 Короткая полупроводниковая нанотрубка;

Ответ:

### **Лекция 4. Нанотрубки в логических элементах, эмиссионных и электромеханических устройствах**

**Вопрос 1.** В светодиоде на нанотрубке происходит:

1. Рождение электронов; 2. Рождение протонов; 3. Рождение дырок; 4. Аннигиляция электронов; 5. Аннигиляция протонов; 6. Аннигиляция дырок; 7. Аннигиляция электронов и протонов; 8. Аннигиляция электронов и дырок

Ответ:

**Вопрос 2.** Для создания эмиссионного устройства нанотрубку располагают на:

1. На катоде; 2. На аноде; 3. На управляющей сетке.

Ответ:

**Вопрос 3.** В ионизационном сенсоре на нанотрубке от химической природы изучаемого газа зависит:

1. Напряжение пробоя; 2. Ток пробоя;

Ответ:

**Вопрос 4.** В ионизационном сенсоре на нанотрубке от концентрации изучаемого газа зависит:

1. Напряжение пробоя; 2. Ток пробоя;

Ответ:

**Вопрос 5.** Инвертор на нанотрубке используют для создания логической операции:

1. Сложения; 2. Умножения; 3. Отрицания.

Ответ:

### **Лекция 5. Механические и электромеханические эффекты**

**Вопрос 1.** При изгибе нанотрубки ее электропроводность

1. Не меняется; 2. Возрастает; 3. Убывает.

Ответ:

**Вопрос 2.** Под действием переменного электрического поля возникают сильные колебания нанотрубки:

1. При большой напряженности поля; 2. При большой частоте поля; 3. При совпадении частоты поля с частотой собственных колебаний трубки.

Ответ:

**Вопрос 3.** В радиоприемнике на нанотрубке для приема сигнала передатчика используют:

1. Механические свойства нанотрубки; 2. Электромеханические свойства нанотрубки; 3. Эмиссионные свойства нанотрубки.

Ответ:

**Вопрос 4.** В громкоговорителе на пленке из нанотрубок генерация звука осуществляется:

1. Благодаря механическим колебаниям пленки; 2. Благодаря электромеханическим колебаниям пленки; 3. Без колебаний пленки.

Ответ:

### **Контрольные вопросы для проверки материала**

1. Что общего имеют структуры углеродных нанотрубок и фуллеренов со структурой графита. Что отличает эти структуры.

2. Чем можно объяснить, что фуллерены летучи, в то время как графит и углеродные нанотрубки нелетучи.

3. Проследите главные отличия химических связей в алмазе, графите, карбине и углеродных нанотрубках.

4. К каким структурным последствиям приводит замена в нанотрубке углеродных шестиугольников на пятиугольники, на семиугольники.

5. Чем различается строение нанотрубок типа зигзаг, кресло и хиральных нанотрубок.

6. Дайте классификацию дефектов углеродных нанотрубок.

7. Какие нанотрубки обладают металлическими, а какие полупроводниковыми свойствами.

8. Опишите принцип работы диода на изогнутой нанотрубке.

9. Опишите принцип работы полевого транзистора на нанотрубке.

10. Опишите принцип работы одноэлектронного транзистора на нанотрубке.

11. Приведите классификацию способов получения углеродных нанотрубок.

12. Опишите принципы электродугового метода синтеза нанотрубок.

13. Как устроен и как работает светодиод на нанотрубке.

14. Как устроена и как работает эмиссионный источник света на нанотрубке.

15. Опишите принцип работы источника рентгеновского излучения на нанотрубке.

16. Как устроен и как работает химический сенсор на полевом транзисторе с нанотрубкой.
17. Опишите основные механизмы образования нанотрубок методом химического осаждения из газовой фазы.
18. Как устроен и как работает эмиссионный химический сенсор на нанотрубках.
19. Опишите устройство и принцип действия элемента памяти на транзисторе с нанотрубкой.
20. Приведите примеры электромеханических эффектов на нанотрубках.
21. Раскройте понятие "квантовые проводники".
22. Раскройте понятие "баллистический транспорт".
23. Опишите устройство и принцип работы радиоприемника на нанотрубке.
24. Опишите устройство и принцип работы громкоговорителя на пленке из нанотрубок.
25. Опишите устройство и принцип работы масс-спектрометра на нанотрубке.
26. Раскройте понятие "квант проводимости".
27. В чем проявляются и каким образом можно использовать эффекты спин-орбитального взаимодействия в нанотрубках.
28. Каким образом зависит ширина запрещенной зоны в полупроводниковых нанотрубках от их диаметра.
29. Раскройте понятие «индуцированная сверхпроводимости нанотрубок».
30. Раскройте понятие «собственная сверхпроводимости нанотрубок».

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для углубленного освоения всего учебного курса.

**Темы контрольных рефератов по курсу "Строение, свойства и применения углеродных нанотрубок"**

1. Химическая классификация и электронное строение углеродных нанотрубок.
2. Способы получения углеродных нанотрубок.
3. Нанотрубки как квантовые проводники.
4. Полупроводниковые электронные устройства на нанотрубках.
5. Нанотрубки в эмиссионных устройствах.
6. Электромеханические свойства нанотрубок и их использование.
7. Как квантовая химия объясняет электронные свойства нанотрубок.
8. Использование углеродных нанотрубок в биологии и медицине.

**Учебно-тематический план**

№	Название учебного курса:	Всего, час	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	Углеродные нанотрубки:	24	10	2	12	

строение, свойства, применения.		2			
Лекция 1. Строение и получение нанотрубок.		2			
Лекция 2. Электронные свойства нанотрубок		2			
Лекция 3. Нанотрубки для электроники		2			
Лекция 4. Нанотрубки в логических элементах, эмиссионных и электромеханических устройствах					
Лекция 5. Механические и электромеханические эффекты					
Итоговый контроль		1. Тесты для самопроверки	2. Контрольные вопросы	3. Реферат	Реферат

## Литература

### Основная

П.Н. Дьячков. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. Бином. Лаборатория знаний. М.: 2006, 290 с.

### Дополнительная литература

1. П. Харрис. Мир материалов и технологий. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Техносфера. М.: 2003, 235 с.

2. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. Логос. М.: 2005, 374 с.

Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте [www.nanoobr.ru](http://www.nanoobr.ru)