

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

«Наноуглеродные материалы, наноалмазы и технологии их получения; технологии на
основе углеродных нанотрубок и фуллеренов.»

**на базе учебного курса
«Углеродные наноматериалы»**

Цель: получение фундаментальных знаний об углеродных наноматериалах, методах их формирования, свойствах, применении, а также приобретение практических навыков работы с ними

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 24 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

Целью данного курса является ознакомление с физическими основами технологии углеродных наноматериалов, методах их формирования, свойствах, применении, а также приобретение практических навыков работы с ними. Необходимо рассмотрение методических аспектов преподавания курса в рамках реализации программ подготовки преподавателей и научные работники высшей школы по направлению «Физические основы нанотехнологий». Очная часть курса состоит в проведении лабораторного практикума на сканирующих зондовых микроскопах (СЗМ) Nanoeducator-5.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- Знать:
 - область применения технологий углеродных наноматериалов;
 - физико-химические основы методов синтеза углеродных наноматериалов;
 - устройство установок СЗМ.
- Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области технологий углеродных наноматериалов;
 - включать приобретенные знания о технологии углеродных наноматериалов в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
 - переносить полученных знания о технологии углеродных наноматериалов на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
 - о теоретических моделях формирования углеродных наноматериалов;
 - о принципах построения установок для синтеза углеродных наноматериалов;
 - о возможных механизмах формирования нанотрубок, фуллеренов и других наноструктур;
 - о методах анализа результатов исследования углеродных наноматериалов с помощью СЗМ.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
 - область применения технологий углеродных наноматериалов;
 - физико-химические основы методов синтеза углеродных наноматериалов;
 - устройство установок для приготовления углеродных наноматериалов;
 - теоретические модели, описывающие синтез углеродных наноматериалов;

- устройство установок СЗМ.
- 2. Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области технологий углеродных наноматериалов;
 - планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием методов формирования углеродных наноматериалов;
 - генерировать новые плодотворные научно-технические и инновационные идеи с использованием технологии синтеза углеродных наноматериалов;
 - переносить полученные знания о технологии углеродных наноматериалов на смежные предметные области и к использованию этих знаний для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности.
- 3. Иметь представление:
 - о теоретических моделях формирования углеродных наноматериалов;
 - о моделях установок для синтеза углеродных наноматериалов;
 - о возможных механизмах формирования нанотрубок, фуллеренов и других наноструктур;
 - о методах анализа результатов исследования углеродных наноматериалов с помощью СЗМ.

Учебный курс «Углеродные наноматериалы» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в НИЯУ МИФИ.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические основы методов синтеза углеродных наноматериалов, получивших в последнее время широкое распространение как новые технологические методы, обеспечивающие формирование углеродных наноматериалов и наноструктур. Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций:

Лекция №1. Введение. Общие свойства углеродных модификаций. Графитовые и алмазные пленки. Графен.

Ознакомление с общими свойствами углеродных аллотропных модификаций, с графитовыми пленками и методами их изготовления. Изучение свойств алмазоподобных и эпитаксиальных алмазных пленок и методов их приготовления. Нановискеры, графен и другие системы на основе углерода.

Лекция №2. Фуллерены, эндоэдрылы и онионы.

Изучение свойств, методов приготовления и модификации фуллеренов, эндоэдрылов, онионов, фуллерита, пленок фуллеренов, шаровидного углерода. Сборка и трансформация фуллеренов друг в друга. Меткары. Применение фуллеренов, эндоэдрылов, онионов, фуллерита, пленок фуллеренов, шаровидного углерода.

Лекция №3. Углеродные нанотрубки – типы, структура и свойства.

Изучение свойств углеродных нанотрубок (тубулены, нанотрубы, УНТ). Ознакомление со структурой нанотрубок и их характерными свойствами: хиральностью, параметрами решетки и т.д. Рассмотрение моделей роста нанотрубок и формирования дефектов в них. Накопление и хранение водорода в УНТ и запасание механической энергии в них.

Лекция №4. Методы формирования и модификации нанотрубок.

Дуговой метод формирования нанотрубок. Лазерный метод получения УНТ. Электролитический и химический методы синтеза нанотрубок. Магнетронный метод выращивания МСНТ. Токовый и другие методы приготовления УНТ. Связки и кристаллы из нанотрубок. Вертикально ориентированные к подложке УНТ. Получение открытых нанотрубок и заполнение их материалом.

Лекция №5. Применение нанотрубок и иных углеродных наноматериалов.

Композиты из нанотрубок. Нити и бумага из НТ. Применение нанотрубок в качестве фильтров. Использование нанотрубок в качестве зондов для сканирующих зондовых микроскопов. Употребление УНТ для создания сенсоров. X-, Y-, V-образные нанотрубки в качестве элементов нанозлектроники.

Использование ВОНТ для создания дисплеев. Употребление нанотрубок для создания нитей и тканей. Соединения включения.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в прохождении студентами лабораторного практикума. Все практические занятия по курсу проходят в специализированной лабораторной аудитории, оборудованной техническими средствами – сканирующими зондовыми микроскопами, с помощью которых студенты проводят исследования, связанные с углеродными наноматериалами.

Лабораторная работа № 1. «Получение СЗМ изображения углеродного наноматериала».

Описание работы.

- 1) Ознакомление со сканирующей зондовой микроскопией (СЗМ).
- 2) Ознакомление с принципами работы Nanoeducator-5 и его устройством.
- 3) Получение СЗМ изображения углеродного наноматериала и обработка результатов.

Лабораторная работа № 2. «Исследование углеродного материала методом СТМ».

Описание работы.

- 1) Ознакомление со сканирующей туннельной микроскопией (СТМ).
- 2) Ознакомление с принципами работы датчика туннельного тока в приборе Nanoeducator-5 и его устройством.
- 3) Получение СТМ изображения углеродного наноматериала и обработка результатов.

Лабораторная работа № 3. «Исследование углеродного материала методом АСМ в неконтактном режиме».

Описание работы.

- 1) Ознакомление с методом работы атомно-силовой микроскопии в неконтактном режиме. 2) Определение основных параметров датчика силового взаимодействия прибора Nanoeducator-5 и параметров АСМ эксперимента.
- 3) Получение топографии поверхности и фазового контраста углеродного наноматериала.

Лабораторная работа № 4. «Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии и освоение методики изготовления новых зондов для СЗМ».

Описание работы.

- 1) Ознакомление с источниками артефактов в сканирующей зондовой микроскопии.
- 2) Изучение основных характеристик пьезоэлектрической керамики и СЗМ сканера прибора Nanoeducator-5.
- 3) Освоение методики изготовления новых зондов для СЗМ.

Лабораторная работа № 5. «Сканирующая зондовая литография».

Описание работы.

- 1) Ознакомление с физическими основами зондовой литографии.
- 2) Ознакомление с различными видами литографии проводимой с помощью прибора Nanoeducator-5.
- 3) Проведение зондовой литографии углеродного наноматериала.

Лабораторная работа № 6. «Обработка и количественный анализ СЗМ изображений углеродного материала».

Описание работы.

- 1) Ознакомление с методами обработки СЗМ изображений.
- 2) Получение СЗМ изображения с помощью прибора Nanoeducator-5.
- 3) Количественный анализ СЗМ изображений углеродного наноматериала.

Практикум действует в НИЯУ МИФИ на основе разработок НИЯУ МИФИ, приборов Nanoeducator-5 и методических рекомендаций предоставленных фирмой-поставщиком оборудования ЗАО «НТ-МДТ».

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. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

Тестовые вопросы к курсу

«Углеродные наноматериалы»

ЛЕКЦИЯ 1

№ задания	Начало определения	Окончание определения	
1	2	3	
1	Графитовая пленка –	а) графен; б) эпитаксиальный алмазоподобный слой; в) осажденный слой графита; г) покрытие из аморфного углерода.	
2	Графит –	а) тонкий слой углерода; б) монокристаллическая пленка углерода; в) серо-черный, мягкий слоистый материал; г) осажденный слой фуллеренов.	
3	Нановискер –	а) аморфная однородная наноструктура; б) наноструктура трубчатой формы; в) скрученный ультратонкий слой металла; г) стержень диаметром от 1 до 100 нм.	
4	Эффект магнитной ловушки –	а) локализация плазмы возле мишени; б) сцепление мишени с магнитом; в) локализация плазмы на аноде; г) рост полупроводника с аморфной структурой.	
5	Алмаз –	а) прозрачный твердый кристалл; б) аморфная однородная наноструктура; в) твердотельная периодическая структура с дополнительным периодическим потенциалом; г) диэлектрик, хорошо проводит тепло.	
Дать правильный ответ			Краткое обоснование ответа
6	Скорость осаждения пленки зависит от	а) толщины мишени; б) радиуса мишени; в) расстояния между катодом и анодом; г) рабочего газа.	
7	Магнетронное распыление	а) проходит в электрическом поле; б) проходит в скрещенных электрических и магнитных полях; в) производится в электролите; г) производится импульсными	

		токами.	
8	Количество осажденных атомов при магнетронном напылении зависит от	а) от величины магнитного поля; б) размеров газового разряда; в) коэффициента распыления; г) от скорости напуска аргона.	
Напишите ваш ответ			
9	Алмазоподобные пленки		
10	Графен		

ЛЕКЦИЯ 2

№ задания	Начало определения	Окончание определения	
1	2	3	4
1	Фуллерены –	а) нановискеры; б) углеродные объекты; в) графитовые покрытия; г) аллотропные кластерные формы углерода.	
2	Фуллерены легко присоединяют –	а) конденсированные тела; б) сорбенты; в) водород, галогены; г) слои атомов или молекул.	
3	Фуллериды формируются при	а) напылении графитовых пленок; б) легировании фуллеритов присадками; в) сорбции; г) облучении фуллерита.	
4	Эндоэдрал –	а) фуллерен с икапсьюлированным атомом; б) наносфера; в) онион; г) шаровидный углерод.	
Дать правильный ответ			Краткое обоснование ответа
5	Меткары	а) эндоэдрады; б) онионы; в)металлокарбоны; г) нановискеры.	
6	Метод сублимации	а) проходит в электрическом поле; б) проходит в скрещенных электрических и магнитных полях; в) производится в электролите; г) производится при нагреве эффузионной ячейки.	
7	Модификация фуллеренов осуществляется	а) в магнитном поле; б) волнами Рэлля; в) под действием УФ; г) лазером.	
8	Пленки фуллеренов осаждаются с помощью	а) лазера; б) метода сублимации; в) электролитического осаждения; г) жидкостной хроматографии.	
Напишите ваш ответ			
9	Онионы		
10	Шаровидный углерод		

ЛЕКЦИЯ 3

№ задания	Начало определения	Окончание определения	
1	2	3	4
1	Нанотрубки –	а) нановискеры; б) углеродные наноструктуры трубчатой формы; в) графитовые покрытия; г) аллотропные кластерные формы углерода.	
2	МСНТ –	а) УНТ; б) многослойные нанотрубки; в) нанотрубки металл-сульфид; г) молекулярные слои нанотрубок.	
3	«Морские ежи» формируются при	а) напылении углеродных пленок; б) легировании нанотрубок присадками; в) сублимации; г) резке фуллерита.	
4	Гексагон –	а) шестиугольная ячейка атомов; б) наносфера; в) графен; г) шестигранная НТ.	
Дать правильный ответ			Краткое обоснование ответа
5	Угол хиральности вдоль зигзагообразной оси	а) 30°; б) 90°; в) 0°; г) 60°.	
6	Нанотрубки растут	а) в электрическом поле; б) в скрещенных электрических и магнитных полях; в) в электролите; г) при дуговом распылении графита.	
7	(Металл@C _m) _n @ОСНТ	а) нанотрубка наполненная анионами; б) меткары в НТ; в) эндоэдрал; г) нанотрубка наполненная эндоэдралами.	
8	Рост НТ при ГФЭ проходит в присутствии	а) лазерного излучения; б) катализатора; в) электролита; г) жидких кристаллов.	
Напишите ваш ответ			
9	Модель Сумио Ииджимы		
10	Дефекты в УНТ		

ЛЕКЦИЯ 4

№ задания	Начало определения	Окончание определения	
1	2	3	4
1	Дуговой разряд зажигается в атмосфере –	а) воздуха; б) углекислого газа; в) гелия; г) аргона.	
2	При дуговом разряде в	а) алмазы;	

	саже наблюдаются –	б) однослойные нанотрубки; в) наночастицы; г) меткары.	
3	НТ формируются с помощью лазера при	а) напылении углеродных пленок; б) легировании нанотрубок присадками; в) сублимации; г) резке слоев графита.	
4	Крекинг –	а) термический распад ацетилена в присутствии катализатора; б) разложение НТ; в) термическое разложение фуллеренов; г) отжиг графита.	
Дать правильный ответ			Краткое обоснование ответа
5	Химический синтез НТ	а) газофазная эпитаксия графита; б) газофазная химическая реакция; в) осаждение НТ плазмой; г) CVD.	
6	Нанотрубки осаждаются после распыления мишени	а) в магнитном поле; б) в скрещенных электрических и магнитных полях; в) на воздухе; г) в аргоне.	
7	Металлические катализаторы нужны для получения	а) нанотрубок наполненных ионами; б) композитов; в) ОСНТ; г) нанотрубок наполненных жидкостью.	
8	Рост ВОНТ проходит в присутствии	а) лазерного излучения; б) катализатора; в) мезопористой подложки; г) жидкой капли.	
Напишите ваш ответ			
9	Магнетронное осаждение УНТ		
10	ВОНТ		

ЛЕКЦИЯ 5

№ задания	Начало определения	Окончание определения	
1	2	3	4
1	Композит –	а) матрица с НТ; б) золь-гель; в) МСНТ; г) керамика.	
2	Уровень деформации НТ достигает –	а) 5°; б) 40%; в) 2%; г) 5 – 6%.	
3	Нити из НТ формируются в растворе	а) щелочи; б) нанотрубок с присадками; в) полимера; г) солей.	
4	ВОНТ используются для создания –	а) нанотермометров; б) дисплеев; в) фуллеренов; г) фильтров.	

Дать правильный ответ		Краткое обоснование ответа
5	Соединения включения	а) каликсарены; б) клатраты; в) нановискеры; г) онионы.
6	Нанотрубки используются в качестве зонда	а) в масс-спектрометре; б) в АСМ; в) в оптическом микроскопе; г) в течеискателе.
7	НТ использовались в качестве фильтра	а) нефти; б) питьевой воды; в) расплавленных металлов; г) жидких кристаллов.
8	ОСНТ используются в качестве сенсоров	а) лазерного излучения; б) катализатора; в) ферментов биовещества; г) металлов.
Напишите ваш ответ		
9	Разветвленные УНТ	
10	Соединения включения	

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Лекция

1. Какие известны аллотропные модификации углерода?
2. Приведите общую классификацию форм углерода.
3. Как приготавливаются графитовые пленки?
4. Опишите технологии синтеза алмазных пленок.
5. Что такое нановискеры, наносферы и нанокристаллы?

2 Лекция

1. Что такое фуллерены?
2. Какие известны структуры фуллерита?
3. Сравнительный анализ методов приготовления фуллеренов и эндоэдралов.
4. В чем сходства и различия между онионами, фуллеренами и шаровидным углеродом?
5. Направления применения фуллеренов, эндоэдралов, онионов.

3 Лекция

1. Что такое нанотрубки?
2. Что такое хиральность, угол хиральности и вектор хиральности нанотрубок?
3. В чем сходство и различие между МСНТ и ОСНТ?
4. Как хранится и используется водород в нанотрубках?
5. Электрофизические свойства нанотрубок и композитов из них.

4 Лекция

1. Какие известны методы формирования нанотрубок?
2. Как модифицируются УНТ?
3. В чем сходства и отличия между лазерным и магнетронным осаждением нанотрубок?
4. Что такое токовый метод формирования УНТ?
5. Как формируются ВОНТ?

5 Лекция

1. Что такое композиты?

2. Назовите сходства и различия между композитами и бумагой из нанотрубок.

3. Для каких целей используются ВОНТ?

4. Основные направления применения нанотрубок.

5. Что такое соединения включения?

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

Темы контрольных рефератов по курсу
«Углеродные наноматериалы»

1. Аллотропные модификации углерода.
2. Графитовые и алмазные пленки.
3. Нановискеры и другие наноструктуры на основе углерода.
4. Фуллерены и структуры из них.
5. Фуллерит.
6. Эндоэдралы.
7. Графен.
8. Онионы, шаровидный углерод, технический углерод.
9. Соединения включения.
10. Нанотрубки на основе углерода.
11. Жгуты и кристаллы из нанотрубок.
12. Нанотрубки, вертикально ориентированные к подложке.
13. Композиты, нити и другие наноструктуры углерода.
14. Свойства УНТ.
15. Нанотрубки с нанопочками, разветвленные нанотрубки.
16. Методы получения УНТ.
17. Применение углеродных наноматериалов.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	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 наноматериалы»	24 ч.	10 ч.	2 ч.	12 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка) Реферат
1.	Лекция №1. Введение. Общие свойства углеродных модификаций. Графитовые и алмазные пленки. Графен		2 ч.	0,4 ч.		
2.	Лекция №2. Фуллерены, эндоэдралы и онионы		2 ч.	0,4 ч.		
3.	Лекция №3. Углеродные нанотрубки – типы, структура и свойства		2 ч.	0,4 ч.		
4.	Лекция №4. Методы формирования и модификации нанотрубок		2 ч.	0,4 ч.		
5.	Лекция №5. Применение нанотрубок и иных углеродных наноматериалов		2 ч.	0,4 ч.		
Итоговый контроль				Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

Список литературы (основной и дополнительной), а также других видов учебно-методологических материалов и пособий, необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.).

Список литературы и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 12.

1. Антоненко С.В. Технология наноструктур: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. – 116 с.
2. Физическая энциклопедия. В 5 томах. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1988 – 1998 гг.
3. Технология тонких пленок: Справочник в двух томах/ Под ред. Майссела Л., Глэнга Р. – М.: Сов. радио, 1977. – 664 с. и 770 с.
4. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф. Нанотехнология для микро- и оптоэлектроники. – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.
5. Нанотехнологии в электронике/Под ред. Ю.А. Чаплыгина.– М.: Техносфера, 2005.– 448 с.
6. Хайманн Р.Б., Евсюков С.Е./ Природа. 2003. № 8. С. 66 – 73.
7. Елецкий А.В./ УФН. 1997. Т. 167. С. 945 – 972. 2000. Т. 170. С. 113 – 142.
8. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.
9. Лозовик Ю.Е., Попов А.М./УФН. 1997. Т. 167. С. 751 – 774.
10. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте <http://nanoobr.ru/>.