

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Курсовая работа
по дисциплине «Композиционные материалы»
на тему «Нанотрубки, структура, свойства, методы получения и применения»

Направление подготовки – 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль подготовки - Материаловедение и технологии новых материалов

Выполнил студент _____ Низомидинов С.И.

Группа: 17MT1

Руководитель:

к.т.н. _____ Хорин А.В.

Работа защищена с оценкой _____

Преподаватели _____

Дата защиты _____

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

ВАРИАНТ 4

Утверждаю

Зав. кафедрой «СЛПиМ», д.т.н., профессор

_____ А.Е. Розен

«___» _____ 2020 года

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу по дисциплине

«Композиционные материалы»

Тема: «Нанотрубки, структура, свойства, методы получения и применения»

Цель:

Исследование углеродных нанотрубок.

Задачи:

- а) Изучить методы получения нанотрубок
- б) Рассмотреть структуру углеродистых нанотрубок
- в) Описать свойства, достоинства и недостатки УНТ
- г) Определить область применения

К защите представить:

- пояснительную записку;
- презентацию доклада по результатам работы.

Срок окончания курсового проектирования – 09.06.2020 г.

Задание выдано 10.09.2019 года.

Руководитель курсового проекта к.т.н.,

А.В. Хорин

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: nizomidinov99@mail.ru / ID: 8090457

Проверяющий: nizomidinov99@mail.ru / ID: 8090457

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 1
Начало загрузки: 11.06.2020 12:53:23
Длительность загрузки: 00:00:03
Имя исходного файла:
Nanotrubki_struktura_svoystva_metody_poluch
enia_L_primenenia.pdf
Название документа:
Nanotrubki_struktura_svoystva_metody_poluch
enia_L_primenenia
Размер текста: 1 кБ
Символов в тексте: 36448
Слов в тексте: 4355
Число предложений: 346

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
Начало проверки: 11.06.2020 12:53:30
Длительность проверки: 00:00:03
Комментарии: не указано
Модули поиска: Модуль поиска Интернет



ЗАИМСТВОВАНИЯ

35,81%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

64,19%

Аннотация

Курсовая работа содержит 37 лс., 6 рис, 1 табл., 7 использованных источников.

НАНОТРУБКИ, ПРИМЕНЕНИЕ, СТРУКТУРА, СВОЙТВА, ГРАФИТ, МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ.

Курсовая работа содержит обзорную информацию об углеродистых нанотрубках, их свойствах, достоинствах и недостатках, вывод и заключение по данной информации.

Объект исследования – анализ свойств, области применения и способов получения нанотрубок.

Предмет исследования – свойства и применение нанотрубок в промышленности.

Применение – углеродистые нанотрубки нашли свое применение в электронике, медицине и машиностроении.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи	Дата	Нанотрубки, структура, свойства, методы получения и применения	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Низомидинов С.И.							
Провер.	Хорин А.В.						4	37
Реценз.						Каф. СЛПиМ, гр.17MT1		
Н. Контр.								
Утверд.								

Содержание

Введение.....	6
1. Нанотрубки	7
2. Структура углеродистых нанотрубок.....	10
2.1 Структура многослойных нанотрубок.....	10
2.2 Структура однослойных нанотрубок.....	13
3. Свойства, достоинства и недостатки.....	15
4. Методы получения.....	21
4.1 Получение графита в дуговом разряде.....	22
4.2 Метод лазерного испарения.....	23
4.3 Химическое осаждение из газовой фазы.....	24
5. Область применения.....	25
Заключение.....	26
Список литературы.....	27
Приложение.....	28

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Введение

В данной работе мы рассмотрим один из видов модификации углерода , представляющего собой полую цилиндрическую структуру, имеющую размер от десятых до нескольких десятков нанометров, называемой углеродной нанотрубкой. Изучим ее свойства , достоинства и недостатки, опишем методы получения и область применения.

Многие перспективные области в области нанотехнологий сегодня связаны с углеродными нанотрубками. Проще говоря, углеродные нанотрубки представляют собой гигантские молекулы или каркасные структуры, которые состоят только из атомов углерода. Легко представить такую нанотрубку, если представить, что графен складывается в трубку - это один из молекулярных слоев графита. Метод складывания нанотрубок во многом определяет конечные свойства этого материала.

Целью данной курсовой работы является исследование углеродных нанотрубок.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1. Нанотрубки

Как известно, [1] фуллерен (C₆₀) был открыт группой Смолли, Крото и Керла в 1985 году, за что в 1996 году эти исследователи были удостоены Нобелевской премии по химии. Что касается углеродных нанотрубок, точную дату их открытия здесь назвать невозможно. Хотя это общеизвестный факт наблюдения за структурой многостенных нанотрубок в Иидзуме в 1991 году, ранее были обнаружены углеродные нанотрубки. Так, например, в 1974-1975 гг. Эндо и соавт. Опубликован ряд работ, описывающих тонкие трубки диаметром менее 100 Å, приготовленных путем конденсации пара, но более детального исследования структуры не проводилось. Группа ученых из Института катализа Сибирского отделения Академии наук СССР в 1977 году при изучении карбонизации железо-хромовых катализаторов дегидрирования под микроскопом зафиксировала образование «полых углеродных дендритов», а также был предложен механизм формирования и описана структура стен. В 1992 году в «Природе» была опубликована статья о том, что нанотрубки наблюдались в 1953 году, годом ранее, в 1952 году, в статье советских ученых Радужкевича и Лукьяновича, электронно-микроскопическое наблюдение волокон диаметром порядка 100 нм, полученное Сообщалось о термическом разложении оксида углерода на железном катализаторе. Эти исследования также не были продолжены.

Существует много теоретических работ по прогнозированию этой аллотропной формы углерода. В своей работе химик Джонс (Дедал) размышлял о спиральных трубках из графита. В работе Л. А. Чернозатонского и др., Опубликованной в том же году, что и работа Иидзумы, были получены и описаны углеродные нанотрубки, а М.Ю. Корнилов не только предсказал существование одностенных углеродных нанотрубок в 1986 году, но и высказал предположение об их больших.

Углеродные нанотрубки - это материал, о котором мечтают многие ученые. Высокий коэффициент прочности, отличная тепло- и электропроводность,

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

огнестойкость и весовой коэффициент на порядок выше, чем у большинства известных материалов. Углеродные нанотрубки представляют собой рулонный лист графена. Российские ученые Константин Новоселов, а также Андрей Гейм получили Нобелевскую премию в 2010 году за открытие.

Впервые советские ученые смогли [2] наблюдать углеродные трубы на поверхности железного катализатора еще в 1952 году. Однако ученым потребовалось пятьдесят лет, чтобы увидеть многообещающий и полезный материал в нанотрубках. Одним из удивительных свойств этих нанотрубок является то, что их свойства определяются геометрией. Таким образом, их электрические свойства зависят от угла кручения - нанотрубки могут демонстрировать полупроводниковую и металлическую проводимость.

Естественно, никто не создает нанотрубки, специально складывая их из листа графита. Сами нанотрубки образуются, например, на поверхности углеродных электродов или между ними во время дугового разряда. Атомы углерода во время разряда испаряются с поверхности и взаимосвязаны. В результате образуются различные типы нанотрубок - многослойные, однослойные и с разными углами закручивания.

Основная [2] классификация нанотрубок просто следует за количеством слоев, составляющих их:

- одностенные нанотрубки - самый простой тип нанотрубок. Большинство из них имеют диаметр порядка 1 нм, длина которого может быть в тысячи раз больше;
- многослойные нанотрубки, состоящие из нескольких слоев графена, они сложены в виде трубки. Расстояние между слоями составляет 0,34 нм, то есть идентично расстоянию между слоями в кристалле графита.

Нанотрубки могут выступать не только в роли изучаемого материала, но и в качестве инструмента исследования. Например, на основе нанотрубок можно создавать микроскопические масштабы. Мы берем нанотрубку, определяем (спектроскопическими методами) частоту ее собственных колебаний, затем

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

прикрепляем к ней тестовый образец и определяем частоту колебаний нагруженной нанотрубки. Эта частота будет меньше, чем частота колебаний свободной нанотрубки: масса системы увеличилась, но жесткость осталась прежней (запомните формулу для частоты колебаний нагрузки на пружину). Например, в [2] было обнаружено, что нагрузка снижает частоту колебаний с 3,28 МГц до 968 кГц, откуда масса нагрузки была получена 22 ± 8 фг (фемтограммы, то есть 10-15 грамм!)

Другой пример, [1] когда нанотрубка является частью физического прибора - это "насаживание" ее на острие сканирующего туннельного или атомного силового микроскопа. Обычно такое острие представляет собой остро заточенную вольфрамовую иглу, но по атомным меркам такая заточка все равно достаточно грубая. Нанотрубка же представляет собой идеальную иглу диаметром порядка нескольких атомов. Прикладывая определенное напряжение, можно подхватывать атомы и целые молекулы, находящиеся на подложке непосредственно под иглой, и переносить их с места на место.

Необычные электрические свойства нанотрубок делают их одним из основных материалов нанoeлектроники. Уже сейчас созданы опытные образцы полевых транзисторов на основе одной нанотрубки: ученые применяют запирающее напряжение нескольких вольт, ученые научились изменять проводимость однослойных нанотрубок на 5 порядков!

Несколько приложений нанотрубок в компьютерной индустрии уже были разработаны. Например, были созданы и испытаны прототипы тонких плоских дисплеев, работающих на матрице из нанотрубок. Под действием напряжения, приложенного к одному из концов нанотрубки, электроны с другого конца начинают излучаться, которые падают на фосфоресцентный экран и вызывают свечение пикселя.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

2. Структура углеродистых нанотрубок

2.1 Структура многослойных нанотрубок

Углеродные [3] нанотрубки представляют собой протяженные структуры, состоящие из свернутых в однослойную (ОСНТ) или многослойную (МСНТ) трубку графитовых слоев. Известный наименьший диаметр нанотрубки - 0.714 нм, что является диаметром молекулы фуллерена C_{60} . Расстояние между слоями практически всегда составляет 0,34 нм, что соответствует расстоянию между слоями в графите. Длина таких образований достигает десятков микрон и на несколько порядков превышает их диаметр (рис. 1). Нанотрубки могут быть открытыми или заканчиваться полусферами, напоминающими половину молекулы фуллерена.

Свойства нанотрубки определяются углом ориентации плоскости графита относительно оси трубки. На рисунке 1 показаны две возможные высокосимметричные структуры нанотрубок - зигзаг (зигзаг) и кресло (кресло). Но на практике большинство нанотрубок не имеют таких высокосимметричных форм, то есть в них шестиугольники скручиваются по спирали вокруг оси трубы. Эти структуры называются хиральными.

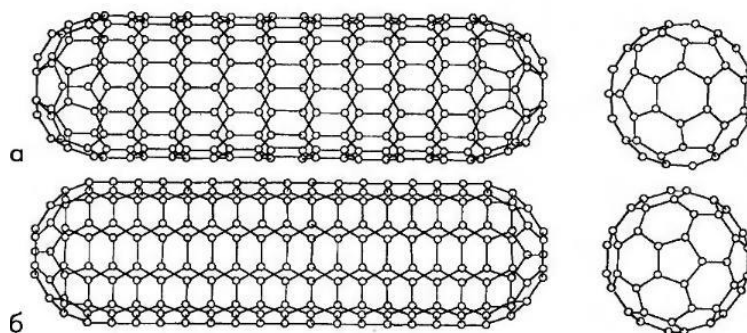


Рисунок 1 - Идеализированные модели однослойных нанотрубок с зигзажной (а) и кресельной (б) ориентациями.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

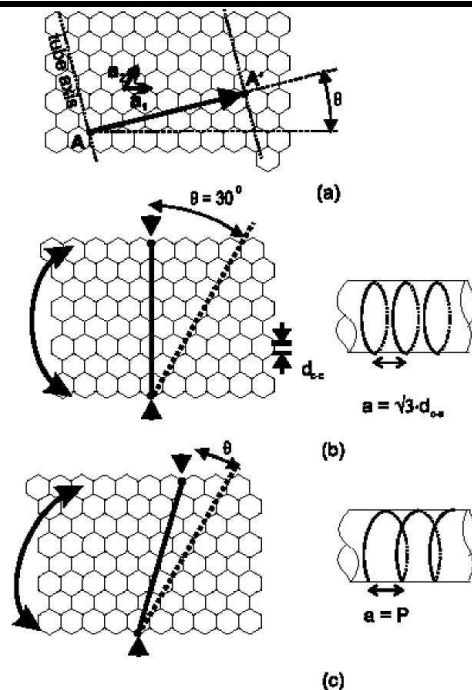


Рисунок 2 - Углеродные нанотрубки образуются при скручивании графитовых плоскостей в цилиндр, соединяя точку А с А'. Угол хиральности определяется как θ - (а). Трубка типа «кресло», $c_h = (4,4)$ - (б). Шаг P зависит от угла θ - (с).

Существует [3] ограниченное количество схем, по которым нанотрубка может быть построена из графитового слоя. Рассмотрим точки А и А' на рис. 2а. Вектор, соединяющий А и А', определяется как $ch = na_1 + ma_2$, где n, m - действительные числа, a_1, a_2 - единичные векторы в плоскости графита. Трубка формируется путем складывания графитового слоя и соединения точек А и А'. Тогда он однозначно определяется вектором ch . На рис. На рис. 3 приведена схема индексации вектора решетки ch .

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

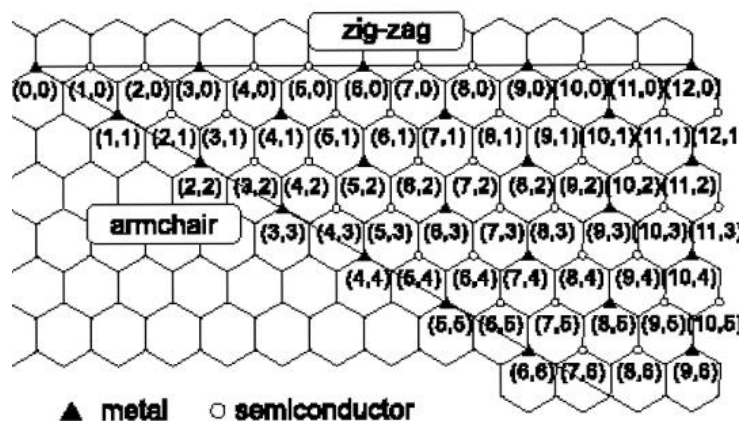


Рисунок 3 - Схема индексирования вектора решетки c_h .

Нанотрубки зигзагообразного типа [2] определяются углом $\varphi = 0^\circ$, что соответствует вектору $(n, m) = (n, 0)$. В них связи СС проходят параллельно оси трубы (рис. 3, а).

Структура типа «стул» характеризуется углом $\varphi = 30^\circ$, соответствующим вектору $(n, m) = (2n, -n)$ или (n, n) . Эта группа трубок будет иметь связи СС, перпендикулярные оси трубки. Остальные комбинации образуют киральные трубки с углами $0^\circ < \varphi < 30^\circ$. Как видно из рис. 4с шаг спирали P зависит от угла φ .

Многослойные нанотрубки отличаются от одностенных нанотрубок значительно более широким разнообразием форм и конфигураций. Разнообразие структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлении. Возможные разновидности поперечной структуры многослойных нанотрубок показаны на рис. 4. Структура типа «русские матрешки» (рис. 4а) представляет собой комбинацию одностенных цилиндрических нанотрубок. Другой вариант этой структуры, показанный на рис. 4б, представляет собой набор коаксиальных призм, встроенных друг в друга. Наконец, последняя из данных структур (рис. 4в) напоминает свиток. Все эти структуры характеризуются расстоянием между соседними слоями графита, близким к 0,34 нм, которое присуще расстоянию между соседними плоскостями кристаллического графита.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Реализация конкретной структуры в конкретной экспериментальной ситуации зависит от условий синтеза нанотрубок.

Исследования многослойных нанотрубок показали, что расстояния между слоями могут варьироваться от стандартного значения 0,34 нм до двойного значения 0,68 нм. Это указывает на наличие дефектов в нанотрубках, когда один из слоев частично отсутствует.

Значительная [4] часть многослойных нанотрубок может иметь поперечное сечение многоугольника, так что области плоской поверхности примыкают к областям поверхности с высокой кривизной, которые содержат ребра с высокой степенью sp^3 -гибридизации углерода. Эти края ограничивают поверхности, состоящие из sp^2 -гибридизированного углерода, и определяют многие свойства нанотрубок.

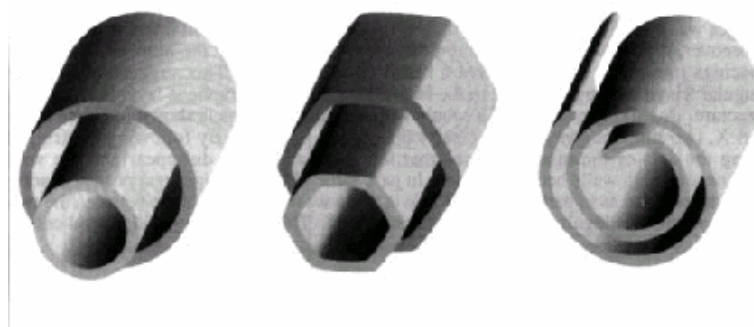


Рисунок 4 - Модели поперечных структур многослойных нанотрубок (а) - «русская матрешка»; (б) – шестигранная призма; (в) – свиток .

2.2 Структура однослойные нанотрубок

Структура одностенных (single-walled) нанотрубок, наблюдаемых экспериментально, во многих отношениях отличается от представленной выше идеализированной картины. Прежде всего это касается вершин нанотрубки, форма которых, как следует из наблюдений, далека от идеальной полусферы.

Особое место среди одностенных нанотрубок занимают так называемые кресельные нанотрубки или нанотрубки с хиральностью (10, 10). В нанотрубках этого типа две из связей С-С, составляющих каждое шестичленное кольцо,

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

ориентированы параллельно продольной оси трубки. Нанотрубки с аналогичной структурой должны иметь чисто металлическую структуру.

Углеродные [2] одностенные углеродные нанотрубки (англ. - одностенные углеродные нанотрубки) - протяженные одностенные наноструктуры, состоящие из свернутых гексагональных сетей с атомами углерода в узлах, обнаруженные в 1991 году японским исследователем Ижимой.

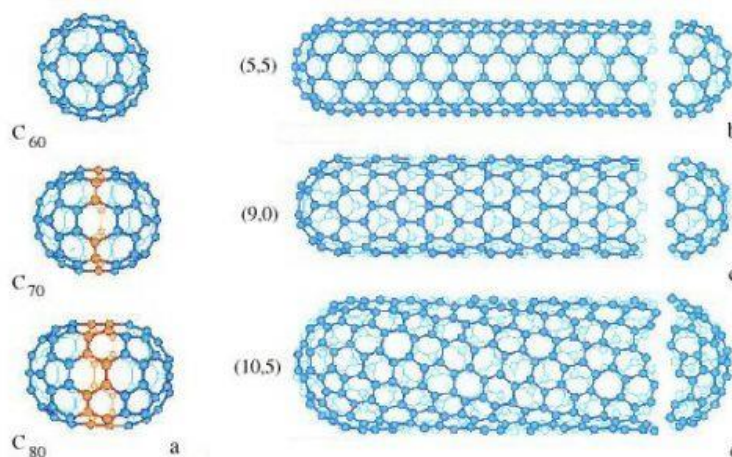


Рисунок 5 - Модель углеродных нанотрубок разного диаметра и фуллерены для сравнения

Различают металлические и полупроводниковые нанотрубки. Металлические нанотрубки проводят электрический ток даже при абсолютной нулевой температуре, в то время как проводимость полупроводниковых трубок равна нулю при абсолютном нуле и увеличивается с ростом температуры. Технически говоря, полупроводниковые трубки имеют запрещенную зону на поверхности Ферми. Трубка оказывается металлической, если $(n-m)$, деленное на 3, дает целое число. В частности, все кресла-трубки металлические.

Первая нанотрубка [4] была получена путем распыления графита в электрической дуге. Измерения, выполненные с помощью электронного микроскопа, показали, что диаметр таких нитей не превышает нескольких нанометров, а длина составляет от одного до нескольких микрон.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

3. Свойства, достоинства и недостатки

Достоинства и недостатки

Среди преимуществ [5] углеродных нанотрубок:

Многие уникальные и действительно полезные свойства, которые можно применять в области внедрения энергосберегающих решений, фотоники, электроники и других приложений.

- Это наноматериал с высоким коэффициентом прочности, отличной теплопроводностью и электрической проводимостью, а также огнестойкостью.
- Улучшение свойств других материалов за счет включения в них небольшого количества углеродных нанотрубок.
- Углеродные нанотрубки с открытым концом проявляют капиллярный эффект, то есть они могут втягивать в себя расплавленные металлы и другие жидкие вещества;
- Нанотрубки сочетают в себе свойства твердого тела и молекул, что открывает значительные перспективы.

Среди недостатков углеродных нанотрубок можно отметить:

- Углеродные нанотрубки в настоящее время не производятся в промышленном масштабе, поэтому их серийное использование ограничено.
- Стоимость производства углеродных нанотрубок высока, что также ограничивает их использование. Тем не менее, ученые прилагают все усилия, чтобы снизить стоимость их производства.
- Необходимость совершенствования технологий производства для создания углеродных нанотрубок с точно определенными свойствами.

Нанотрубки имеют высокие эмиссионные характеристики. Они оказались источниками интенсивной полевой эмиссии (туннелирование или поле с возможностью эмиссии электронов поверхностью твердых тел под действием сильного электрического поля) и термоэлектронной эмиссии (эмиссия электронов нагретыми твердыми телами). Такие свойства позволяют разработать на основе нанотрубок высокопроизводительные низковольтные и низкотемпературные

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

тепловые излучатели электронов, а также полевые устройства для создания ярких и экономичных плоских дисплеев, источников света, датчиков вакуумного давления и т. Д. Уже есть примеры использования катода с углеродными нанотрубками в рентгеновской трубке, что исключает необходимость предварительного нагрева катода и облегчает создание компактных портативных устройств. Кроме того, исключается повреждение, связанное с химическим взаимодействием остаточных молекул воды и воздуха с горячей поверхностью металлического катода. Такие рентгеновские трубки обеспечивают очень высокое качество изображения объекта, ранее просто недостижимого

Нанотрубки [6] имеют высокую удельную поверхность и химическую стабильность, что позволяет использовать их в качестве электродов для электрохимических конденсаторов большой емкости большой мощности. В процессе исследований выяснилось, что различные радикалы, которые образуют каталитические центры, могут быть прикреплены к поверхностям нанотрубок, что позволяет использовать их в качестве субстрата в гетерогенном катализе. Эксперименты выявили не только каталитическую активность нанотрубок, но и аномально высокую, что позволяет использовать их в виде пористых материалов в аппаратах, работающих в различных химических отраслях промышленности. Была обнаружена еще одна особенность - высокая механическая прочность, поэтому нанотрубки могут служить основой для самого тонкого измерительного прибора - атомно-силовой микроскоп, используемый для контроля неоднородной поверхности, а электропроводящие возможности позволяют рассчитывать на их использование в качестве зондов сканирующий туннельный микроскоп.

Включая нанотрубки в различные сплавы (алюминий, магний, литий), можно значительно повысить износостойкость, прочность и трещиностойкость. Нанотрубки также будут полезны при разработке новых смазочных и охлаждающих составов для увеличения ресурса узлов механического трения транспортных систем. Эксперименты показывают, что расход топлива снижается

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

на 2-7%, износ деталей в 1,5-2,5 раза, а мощность двигателя внутреннего сгорания увеличивается на 2-4%.

И было много удивительного. Во-первых, разнообразие форм: нанотрубки могут быть большими и маленькими, однослойными и многослойными, прямыми и спиральными. Во-вторых, несмотря на кажущуюся хрупкость и даже ажурность, нанотрубки были чрезвычайно прочным материалом как при растяжении, так и при изгибе. Более того, под воздействием механических напряжений, превышающих критические, нанотрубки также ведут себя экстравагантно: они не «ломаются» и не «ломаются», а просто перестраиваются. Кроме того, нанотрубки демонстрируют целый ряд самых неожиданных электрических, магнитных и оптических свойств. Например, в зависимости от конкретной схемы складывания графитовой плоскости нанотрубки могут быть как проводниками, так и полупроводниками.

Углеродные нанотрубки сочетают в себе свойства молекул и твердого тела и рассматриваются некоторыми исследователями как промежуточное состояние вещества. Результаты первых исследований углеродных нанотрубок свидетельствуют об их необычных свойствах. Некоторые свойства одностенных нанотрубок приведены в табл. 1.

Электрические [5] свойства ОСНТ во многом определяются их хиральностью. Многочисленные теоретические расчеты дают общее правило для определения типа проводимости ОСНТ:

трубки с (n, n) всегда металлические;

трубки с $n - m = 3j$, где j не является нулевым целым числом, являются полупроводниками с малой шириной запрещенной зоны; а все остальные являются полупроводниками с большой шириной запрещенной зоны.

В действительности теория зон для трубок $n - m = 3j$ дает металлический тип проводимости, но в случае искривления плоскости в случае ненулевого j открывается небольшой зазор. Одноэлектронное представление нанотрубок типа кресла (n, n) остается металлическим независимо от кривизны поверхности из-за

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

их симметрии. При увеличении радиуса трубки R ширина запрещенной зоны для полупроводников большой и малой ширины уменьшается по законам $1/R$ и $1/R^2$ соответственно.

Таким образом, для большинства экспериментально наблюдаемых нанотрубок зазор с небольшой шириной, который определяется эффектом кривизны, будет настолько мал, что в практических условиях все трубки с $n - m = 3j$ при комнатной температуре считаются металлическими.

Таблица 1 - свойства однослойных нанотрубок

Свойства	Однослойные нанотрубки	Сравнение с известными данными
Характерный размер	Диаметр от 0,6 до 1,8 нм	Предел электронной литографии 7 нм
Плотность	1.33-1.4 г/см ³	Плотность алюминия 2.7 г/см ³
Прочность на разрыв	45 ГПа	Самый прочный сплав стали разламывается при 2 ГПа
Упругость	Упруго изгибается под любым углом	Металлы и волокна из углерода ломаются по границам зерен
Плотность тока	Оценки дают до 1Г А/см ²	Медные провода выгорают при 1 МА/см ²

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Автоэмиссия	Активируются при 1-3 В при расстоянии 1 мкм	Молибденовы е иглы требуют 50 - 100 В, и недолговечны
Теплопроводн ость	Предсказывают до 6000 Вт/мК	Чистый алмаз имеет 3320 Вт/мК
Стабильность по температуре	До 2800°C в вакууме и 750°C на воздухе	Металлизация в схемах плавится при 600 - 1000°C
Цена	500\$/г	Золото 10\$/г

Высокая механическая прочность углеродных нанотрубок в сочетании с их электропроводностью позволяет использовать их в качестве зонда в сканирующих зондовых микроскопах, что увеличивает разрешение таких устройств на несколько порядков и ставит их в один ряд с такими уникальное устройство в качестве полевого ионного микроскопа.

Нанотрубки обладают высокими эмиссионными характеристиками; Плотность поля тока эмиссии поля при напряжении около 500 В достигает значения около 0,1 А. см⁻² при комнатной температуре. Это открывает возможность создания дисплеев нового поколения на их основе.

Нанотрубки с открытым концом обладают капиллярным эффектом и способны втягивать в себя расплавленные металлы и другие жидкие вещества. Реализация этого свойства нанотрубок открывает перспективу создания проводящих нитей диаметром около нанометра.

Использование нанотрубок в химической технологии представляется весьма перспективным, что связано, с одной стороны, с их высокой удельной поверхностью и химической стабильностью, а с другой - с возможностью прикрепления различных радикалов к поверхности нанотрубки, которые впоследствии могут служить каталитическими центрами или ядрами для

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

осуществления разнообразных химических превращений. Образование нанотрубками случайно ориентированных спиральных структур, которые многократно скручиваются между собой случайным образом, приводит к появлению значительного количества полостей нанометрового размера внутри материала нанотрубок, в которые могут проникать жидкости или газы. В результате удельная поверхность материала, состоящего из нанотрубок, оказывается близкой к соответствующему значению для отдельной нанотрубки. В случае одностенных нанотрубок это значение составляет около $600 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$. Такое высокое значение удельной поверхности нанотрубок открывает возможность их использования в качестве пористого материала в фильтрах, в устройствах химической технологии и т. д. ,

В настоящее время предлагаются различные применения углеродных нанотрубок в газовых сенсорах, которые активно используются в экологии, энергетике, медицине и сельском хозяйстве. Созданы газовые сенсоры, основанные на изменении термо ЭДС или сопротивления при адсорбции молекул различных газов на поверхности нанотрубок.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

4. Методы получения

4.1 Получение графита в дуговом разряде

Метод основан на образовании углеродных нанотрубок при термическом распылении графитового электрода в плазме горения дугового разряда в гелиевой атмосфере. Этот метод позволяет получать нанотрубки в количестве, достаточном для детального изучения их физико-химических свойств.

Трубка [6] может быть получена из протяженных фрагментов графита, которые затем скручивают в цилиндр. Для образования протяженных фрагментов требуются особые условия для нагрева графита. Оптимальные условия получения нанотрубок реализуются в дуговом разряде с использованием электролитического графита в качестве электродов. На рис. 8 показывается упрощенную схему устройства для получения фуллеренов и нанотрубок.

Распыление графита осуществляется при пропускании через электроды тока с частотой 60 Гц, величина тока от 100 до 200 А, напряжение 10-20 В. Регулируя натяжение пружины, можно добиться, чтобы основная часть подводимой мощности выделялась в дуге, а не в графитовом стержне. Камера заполняется гелием с давлением от 100 до 500 торр. Скорость испарения графита в этой установке может достигать 10 г/В. При этом поверхность медного кожуха, охлаждаемого водой, покрывается продуктом испарения графита, т.е. графитовой сажей. Если получаемый порошок соскоблить и выдержать в течение нескольких часов в кипящем толуоле, то получается темно-бурая жидкость. При выпаривании ее во вращающемся испарителе получается мелкодисперсный порошок, вес его составляет не более 10% от веса исходной графитовой сажи, в нем содержится до 10% фуллеренов и нанотрубок.

В описанном способе получения нанотрубок гелий играет роль буферного газа. Атомы гелия уносят энергию, выделяемую комбинацией углеродных фрагментов. Опыт показывает, что оптимальное давление гелия для производства

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

фуллеренов находится в диапазоне 100 Торр, для производства нанотрубок - в диапазоне 500 Торр.

Среди различных продуктов термического напыления графита (фуллерены, наночастицы, частицы сажи) небольшая часть (несколько процентов) также приходится на многослойные нанотрубки, которые частично прикрепляются к холодным поверхностям установки, частично осаждаются на поверхности вместе с сажей.

Одностенные нанотрубки образуются, когда к аноду добавляется небольшая примесь Fe, Co, Ni, Cd (то есть путем добавления катализаторов). Кроме того, ОСНТ получают путем окисления многослойных нанотрубок. Для целей окисления многослойные нанотрубки обрабатывают кислородом при умеренном нагревании или кипящей азотной кислотой, и в последнем случае удаляют пятичленные графитовые кольца, что приводит к открытию концов труб. Окисление позволяет снять верхние слои с многослойной трубки и открыть ее концы. Поскольку реакционная способность наночастиц выше, чем у нанотрубок, при значительном разрушении углеродного продукта в результате окисления доля нанотрубок в его оставшейся части увеличивается.

4.2 Метод лазерного испарения

Альтернативой [6] выращиванию нанотрубок в дуговом разряде является метод лазерного испарения. В этом методе ОСНТ синтезируются в основном путем испарения смеси углерода и переходных металлов лазерным лучом из мишени, состоящей из металлического сплава с графитом. По сравнению с методом дугового разряда прямое испарение позволяет более детально контролировать условия роста, длительные операции и производство нанотрубок с большим выходом и лучшим качеством. Фундаментальные принципы, лежащие в основе образования ОСНТ лазерным испарением, те же, что и в методе дугового разряда: атомы углерода начинают накапливаться и образовывать соединение в месте расположения частиц металлического катализатора. В установке

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

сканирующий лазерный луч фокусировался в пятне 6–7 мм на мишень, содержащую металлический графит. Мишень помещали в трубку, заполненную (под повышенным давлением) аргоном и нагревали до 1200 ° С. Сажа, образовавшаяся в результате лазерного испарения, уносилась потоком аргона из высокотемпературной зоны и осаждалась на водоохлаждаемом медном коллекторе, расположенном на выходе из трубы.

4.3 Химическое осаждение из газовой фазы

Метод плазмохимического [5] осаждения из газовой фазы (ПХО) основан на том, что газообразный источник углерода (чаще всего метан, ацетилен или монооксид углерода) подвергают воздействию какого-либо высокоэнергетического источника (плазмы или резистивно-нагреваемой катушки) для того чтобы расщепить молекулу на реакционно-активный атомарный углерод. Далее происходит его распыление над разогретой подложкой, покрытой катализатором (обычно это переходные металлы первого периода Fe, Co, Ni и др.), на котором осаждается углерод. Нанотрубки образуются только при строго соблюдаемых параметрах. Точное воспроизведение направления роста нанотрубок и их позиционирование на нанометровом уровне может быть достигнуто только при получении их методом каталитического ПХО. Возможен точный контроль за диаметром нанотрубок и их скоростью роста. В зависимости от диаметра частиц катализатора могут расти исключительно ОСНТ либо МСНТ. На практике данное свойство широко используется в технологии создания зондов для сканирующей зондовой микроскопии. Задавая положение катализатора на конце кремниевой иглы кантилевера, можно вырастить нанотрубку, которая значительно улучшит воспроизводимость характеристик и разрешающую способность микроскопа, как при сканировании, так и при проведении литографических операций.

Обычно синтез нанотрубок по методике РСР происходит в два этапа: приготовление катализатора и фактический рост нанотрубок. Осаждение катализатора осуществляется путем распыления переходного металла на поверхности подложки, а затем, используя химическое травление или отжиг,

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

инициируют образование частиц катализатора, на которых впоследствии растут нанотрубки (рис. 10). Температура в синтезе нанотрубок варьируется от 600 до 900 °С.

Среди многих методов ПХФ следует отметить метод каталитического пиролиза углеводородов (рис. 10), в котором можно реализовать гибкий и раздельный контроль условий образования нанотрубок.

В качестве катализатора обычно используется железо, которое образуется в восстановительной среде из различных соединений железа (хлорид железа (III), салицилат железа (III) или пентакарбонил железа). Смесь солей железа с углеводородом (бензолом) распыляют в реакционную камеру либо направленным потоком аргона, либо с помощью ультразвукового распылителя. Полученный аэрозоль с потоком аргона поступает в кварцевый реактор. В зоне печи предварительного нагрева поток аэрозоля нагревается до температуры ~ 250 °С, углеводород испаряется, и начинается разложение металлсодержащей соли. Далее аэрозоль поступает в зону печи пиролиза, температура которой составляет 900 °С. При этой температуре происходит процесс образования микро- и наноразмерных частиц катализатора, пиролиз углеводородов, образование различных углеродных структур, в том числе нанотрубок, на металлических частицах и стенках реактора. Затем поток газа, проходящий через реакционную трубу, попадает в зону охлаждения. Продукты пиролиза осаждаются в конце зоны пиролиза на медном стержне с водяным охлаждением.

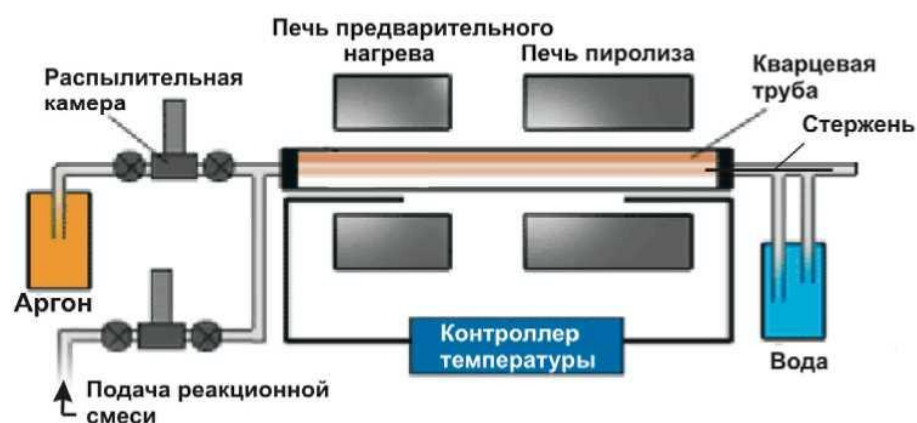


Рисунок 6 - Схема установки каталитического пиролиза углеводородов

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

5. Область применения

В ближайшем [7] будущем углеродные нанотрубки будут использоваться повсеместно, из чего они будут созданы:

- наноразмерные, композиционные материалы, сверхмощные нити.
- Топливные элементы, прозрачные проводящие поверхности, нанопроволоки, транзисторы.
- Последние разработки нейрокомпьютера.
- Дисплеи, светодиоды.
- Устройства для хранения металлов и газов, капсулы для активных молекул, нанопипетки.
- Медицинские нанороботы для доставки лекарств и операций.
- Миниатюрные датчики со сверхвысокой чувствительностью. Такие наносенсоры могут найти применение в биотехнологических, медицинских и военных целях.
- Кабель для космического лифта.
- Плоские прозрачные динамики.
- Искусственные мышцы. В будущем появятся киборги, роботы, люди с ограниченными возможностями вернутся к полноценной жизни.
- Двигатели и генераторы.
- Умная, легкая и удобная одежда, которая защитит от любых неприятностей.
- Безопасные суперконденсаторы с быстрой зарядкой.

Все это в будущем, потому что промышленные технологии создания и использования углеродных нанотрубок находятся на начальной стадии разработки, а их цена чрезвычайно высока. Но российские ученые уже заявили, что нашли способ снизить стоимость создания этого материала в двести раз.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Заключение

В работе были рассмотрены структура углеродистых нанотрубок их достоинства и недостатки. Изучены методы изготовления нанотрубок, их область применения.

В России более 80 академических, промышленных и образовательных учреждений занимаются проблемами нанотехнологий и, следовательно, используют нанотрубки практически во всех областях. Но только в Зеленограде они занимаются нанонаукой и нанотехнологиями - производят лучшие в мире измерительные приборы для нанотехнологий - сканирующие зондовые микроскопы, без которых было бы просто невозможно изучать и, особенно, создавать какие-то изделия из нанотрубок.

Углеродные нанотрубки вместе с фуллеренами и мезопористыми углеродными структурами образуют новый класс углеродных наноматериалов или углеродных каркасных структур, свойства которых значительно отличаются от других форм углерода, таких как графит и алмаз. Однако наиболее перспективными из них являются именно нанотрубки.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Список литературы

[1]- **Углеродные нанотрубки** [Электронный ресурс]- [сайт]. URL: <https://works.doklad.ru/view/e7cKW3tmS1U/2.html> (дата обращения: 24.05.20)

[2]- **Углеродные нанотрубки** [Электронный ресурс]- [сайт]. URL: <https://works.doklad.ru/view/f-y8ldXm-9c/2.html> (дата обращения: 24.05.20)

[3]- **Углеродные нанотрубки. Устройство и применение. Особенности** [Электронный ресурс] [сайт]. URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/uglerodnye-nanotrubki/> (дата обращения: 20.05.20)

[4]- **Углеродные нанотрубки: виды и области применения** [Электронный ресурс]- [сайт]. URL: <http://www.cleandex.ru/articles/2007/12/10/nanotubes-carbon> (дата обращения: 24.05.20)

[5]- **Электронные и механические свойства углеродных нанотрубок сложной формы.** [Электронный ресурс]- [сайт]. URL: https://www.sgu.ru/sites/default/files/method_info/2013/elektronnye_i_mehanicheskie_svoystva_uglerodnyh_nanotrubok_slozhnoy_formy.pdf (дата обращения: 24.05.20)

[6]- **Углеродные нанотрубки** [Электронный ресурс]- [сайт]. URL: <https://www.osp.ru/os/2003/12/183673/> (дата обращения: 24.05.20)

[7]- **Углеродные нанотрубки: их свойства и применение** [Электронный ресурс]- [сайт]. URL: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1159181&uri=index.html> (дата обращения: 24.05.20)

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Приложение

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28



Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»



Нанотрубки, структура, свойства, методы получения и применения.

Выполнил:
ст. гр. 17МТ1
Низомидинов С.И.

Преподаватель:
к.т.н., доцент Хорин
А.В.

Пенза 2020

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

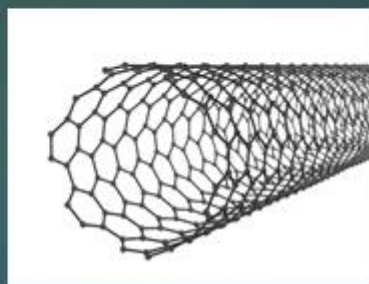
Задачи:

- рассказать о структуре углеродистых нанотрубок
- провести анализ нанотрубок по свойствам
- провести анализ области применения углеродистых нанотрубок
- описать методы для создания нанотрубок

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

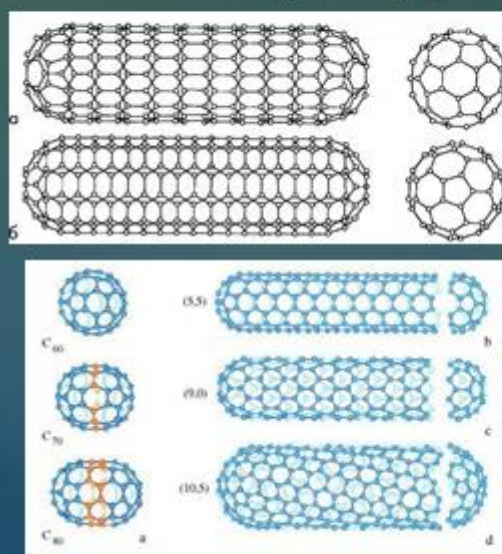
Нанотрубки

Углеродная нанотрубка — это аллотропная модификация углерода, представляющая собой полую цилиндрическую структуру диаметром от десятых до нескольких десятков нанометров и длиной от одного микрометра до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей.



					ПГУ.К.Р.1.2.9.17МТ106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Структура нанотрубок



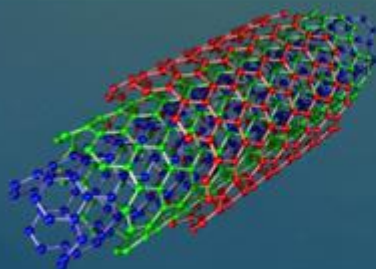
Углеродные однослойные нанотрубки (УНТ) (англ. – single-walled carbon nanotube) – протяжённые однослойные наноструктуры, состоящие из свёрнутых гексагональных сеток с атомами углерода в узлах, открытые в 1991 году японским исследователем Идзимиой.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Структура нанотрубок



Многослойные нанотрубки отличаются от однослойных значительно более широким разнообразием форм и конфигураций. Разнообразие структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлении. Возможные разновидности поперечной структуры многослойных нанотрубок представлены на рис..



					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Свойства нанотрубок

Свойства	Однослойные нанотрубки	Сравнение с известными данными
Характерный размер	Диаметр от 0,6 до 1,8 нм	Предел эластичной деформации 7 нм
Плотность	1,33-1,4 г/см ³	Плотность алюминия 2,7 г/см ³
Прочность на разрыв	45 ГПа	Самый прочный сплав стали разрушается при 2 ГПа
Упругость	Упруго деформируются под любым углом	Металлы и сплавы из углерода деформируются по границам зерен
Плотность тока	Оценивают до 10 ¹⁰ А/см ²	Медные проводники выгорают при 1 МА/см ²
Активизация	Активируются при 1-3 В при расстоянии 1 мкм	Молибденовые лампы требуют 50 - 100 В и излучают инфракрасное излучение
Теплопроводность	Препятствуют до 6000 Вт/мК	Чистый алмаз имеет 3320 Вт/мК
Стабильность по температуре	До 2800°C в вакууме и 750°C на воздухе	Металлизация в схемах плавления при 600 - 1000°C

Углеродные нанотрубки сочетают в себе свойства молекул и твердого тела и рассматриваются некоторыми исследователями как промежуточное состояние вещества. Результаты уже первых исследований углеродных нанотрубок указывают на их необычные свойства. Некоторые свойства однослойных нанотрубок приведены в табл.

Область применения

В ближайшем будущем углеродные нанотрубки будут применяться повсеместно, из них будут создаваться:

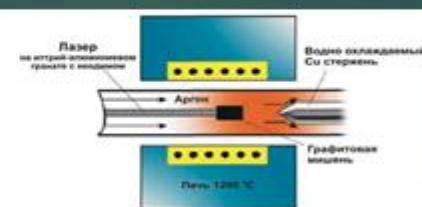
- ❑ Нановесы, композитные материалы, сверхпрочные нити.
- ❑ Топливные элементы, прозрачные проводящие поверхности, нанопровода, транзисторы.
- ❑ Новейшие нейрокомпьютерные разработки.
- ❑ Дисплеи, светодиоды.
- ❑ Устройства для хранения металлов и газов, капсулы для активных молекул, нанопилетки.
- ❑ Медицинские нанороботы для доставки лекарств и проведения операций.
- ❑ Миниатюрные датчики с ультравысокой чувствительностью. Такие нанодатчики могут найти применение в биотехнологических, медицинских и военных применениях.
- ❑ Трос для космического лифта.
- ❑ Плоские прозрачные громкоговорители.
- ❑ Искусственные мышцы. В будущем появятся изобретения, роботы, инвалиды будут возвращаться к полноценной жизни.
- ❑ Двигатели и генераторы энергии.
- ❑ Умная, легкая и комфортная одежда, которая будет защищать от любых невзгод.
- ❑ Безопасные суперконденсаторы с быстрой зарядкой.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Методы производства



1)Получение графита в дуговом разряде



2)Метод лазерного испарения



3)Химическое осаждение из газовой фазы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106

Лист

36

Заключение

- ✎ Рассмотрены общие теоретические сведения об углеродистых нанотрубках.
- ✎ Изучены свойства нанотрубок.
- ✎ Обозначена область применения УНТ.
- ✎ Были описаны методы создания УНТ.

					ПГУ.К.Р.1.2.9.17MT106	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37