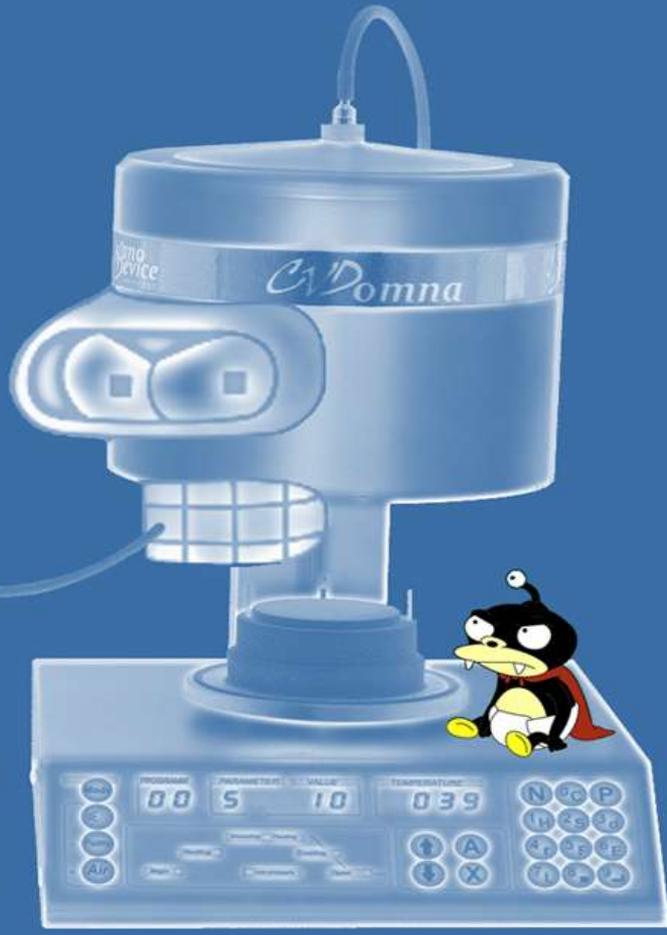


# Нанотехнологии в Электронике

научно - образовательный центр



The step towards nano

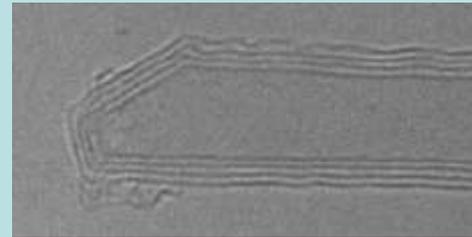


Углеродная нанотрубка – это свёрнутый в цилиндр графитовый лист.

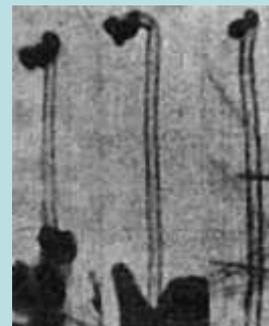
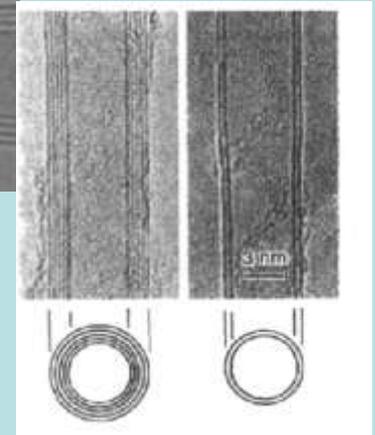
**В 1889** был получен патент на производство волокнистого углерода из метано-водородной смеси на железном катализаторе.



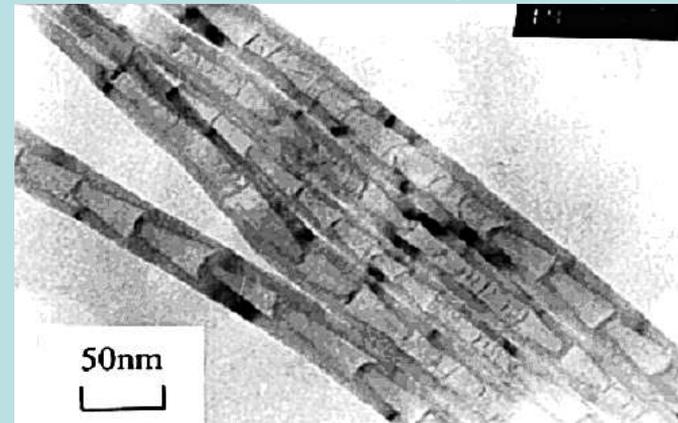
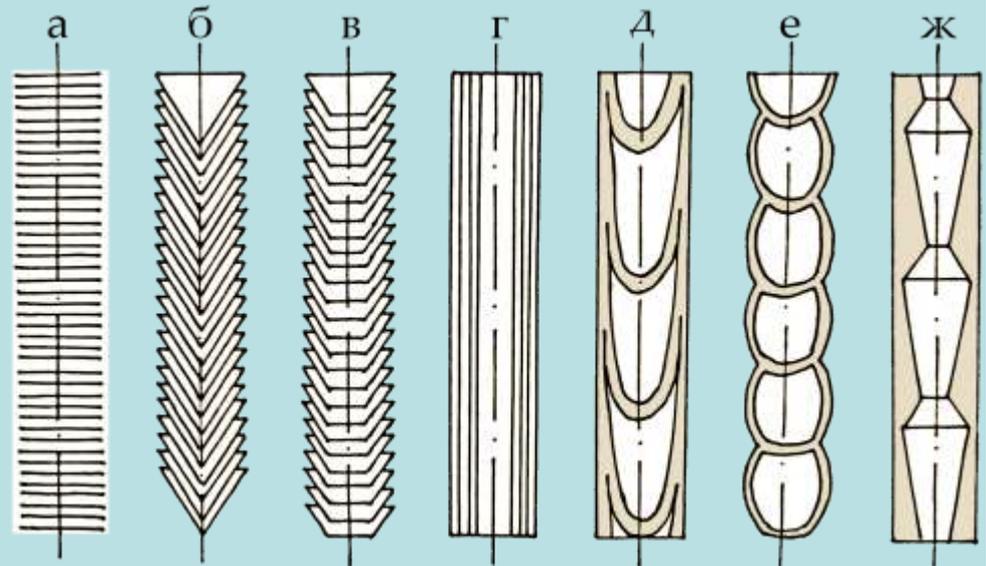
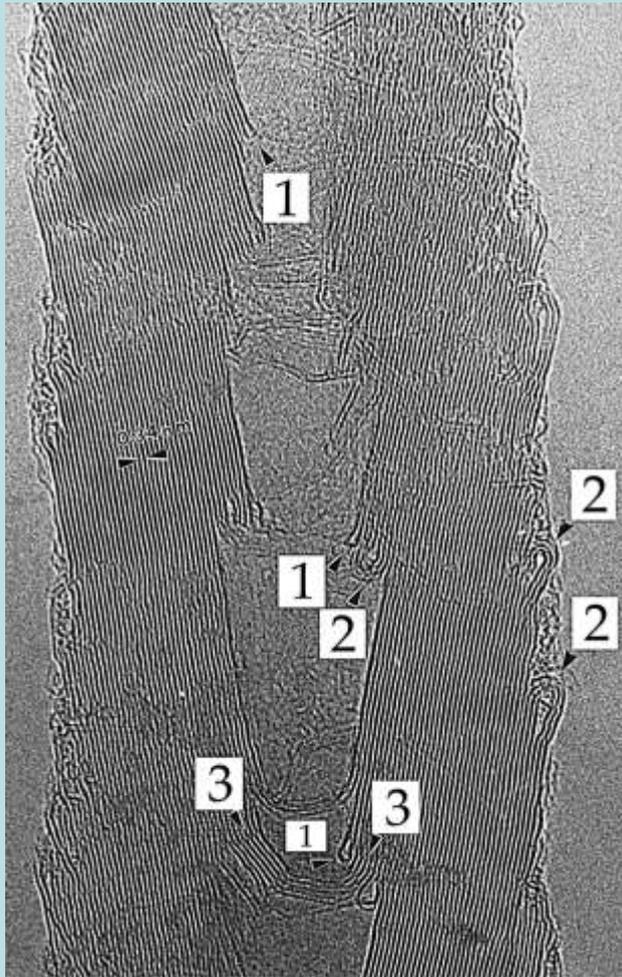
Углеродные волокна – это продукт отравления железного катализатора и разрушения железных дымоходов!



В 1991 году Иидзума идентифицировал эти волокна как коаксиальные графеновые цилиндры



## Морфология углеродных нановолокон

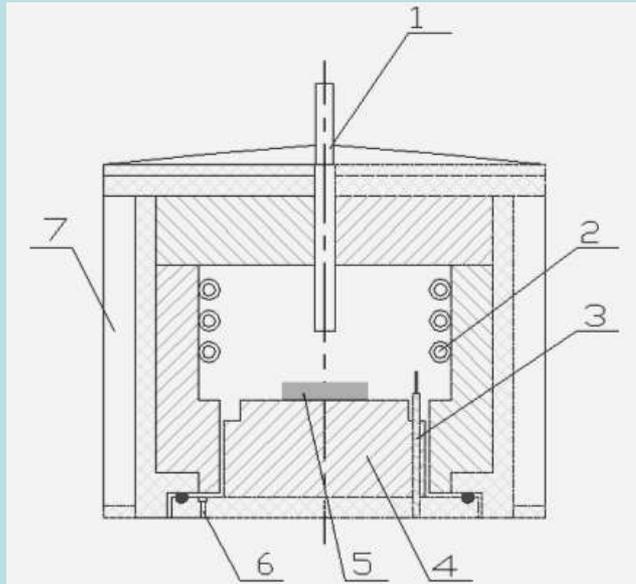


## Свойства углеродных нанотрубок

Свойства	ОСНТ	Сравнение	Физические предпосылки
Типичный диаметр	Около 0.6-2 нм	Предел электронной литографии 7 нм	Диаметр нанотрубок определяется С-С связью
Плотность	1.33 – 1.4 г/см <sup>3</sup>	Плотность алюминия 2.7 г/см <sup>3</sup>	Полость в нанотрубке облегчает всю структуру по сравнению с цельным цилиндром. Атом углерода имеет малую массу.
Напряжение разрыва	45 ГПа	Прочнейший стальной сплав рвётся при 2 ГПа.	Сила связей в графене сильнейшая элементарная связь в природе равная 10 эВ/атом
Предельная плотность тока	Около 1 ГА/см <sup>2</sup>	Медный провод перегорает при 1 МА/см <sup>2</sup>	Реализуется по аналогичным причинам
Автоэмиссионный барьер	Около 2 В/мкм	Молибденовые иглы короткоживущи и требуют 50 – 100 В/мкм	Характерное высокое аспектное соотношение.
Теплопроводность	Предсказывается около 6000 Вт/м·К	Совершенный алмаз имеет 3320 Вт/м·К	Теплопроводность нанотрубок определяется суммой большой электронной и фононной составляющей.
Термическая стабильность	Менее 2800°С в вакууме и 800°С в атмосфере	Металлизация в схемах плавится при 600 - 1000°С	Структура очень стабильна благодаря углерод-углеродному взаимодействию. Температура плавления углерода 4000 К



## Динамика парогазовой смеси в реакторе



$T=700\text{ C}$   
 $P=20\text{ кПа}$

### Свободные энергии химических реакций

Реакция	$\Delta G$ , мДж
$3\text{O}_2 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	-11,440
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 2\text{C} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2$	-0,216
$2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 4\text{C} + \text{O}_2 + 5\text{H}_2$	0,349
$2\text{O}_2 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 2\text{CO} + 3\text{H}_2\text{O}$	-9,951
$2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$	-2,066
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CO} + 3\text{H}_2 + \text{C}$	0,054

### Схема реактора.

- 1.- канал напуска ПГС 2.- нагревательный элемент 3.- термопара 4.- рабочий столик  
5.- предметный столик 6.- канал к насосу  
7.- теплоотвод

### Параметры течения ПГС в установке

$$\text{Re} = \frac{P\mu \cdot 4\sigma}{\pi RTd \cdot (12,2\sqrt{T} - 128,573)}$$

В камере  $v=0,24\text{ м/с}$  и  $\text{Re}=87$ .

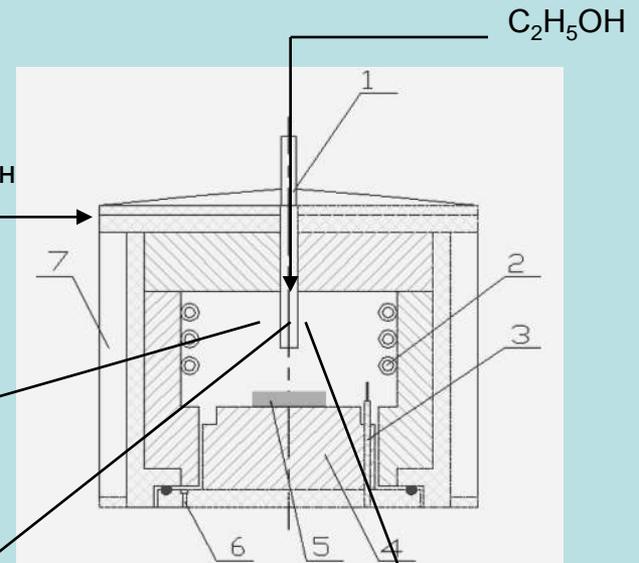
В натекателе  $v=1,66\text{ м/с}$  и  $\text{Re}=2085$

## Технология производства углеродных нанотрубок

Катализатор



Нагрев 20 °/мин

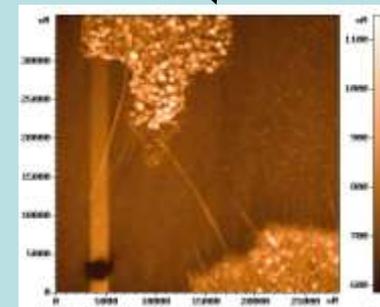


Аэрогель волокнистого углерода



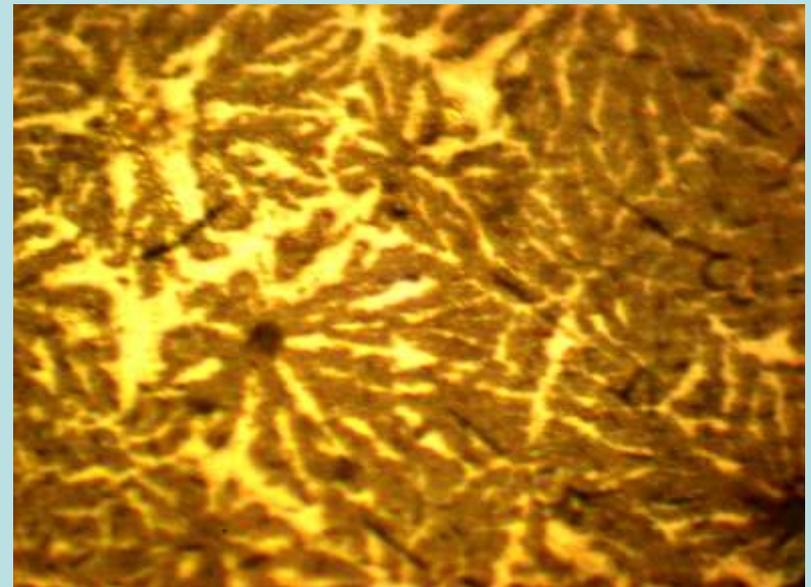
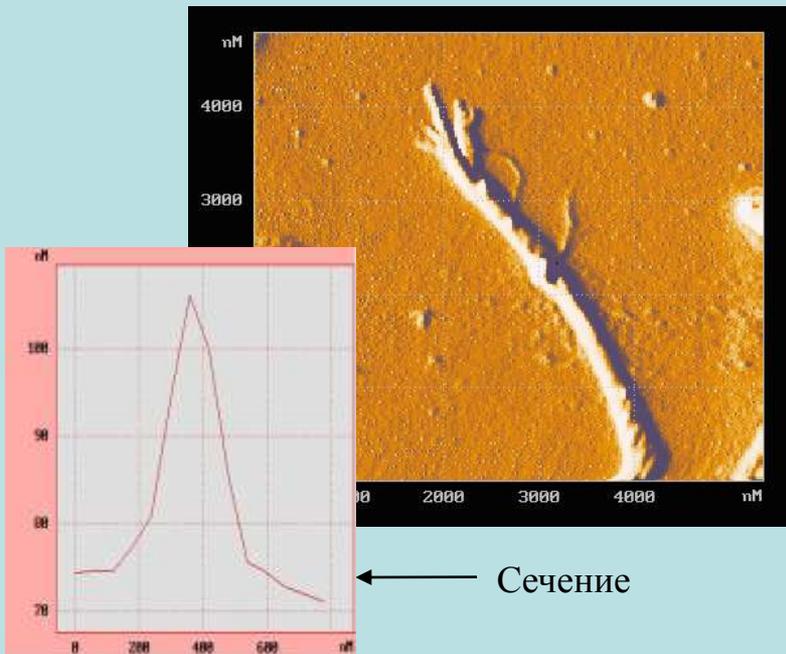
Плёнка углеродных нанотрубок

Электронные компоненты



## Катализаторы золь-гель

1. Дихлорид гексааммоний-никеля ( $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ )
2. Дихлорид гексааммоний-кобальта ( $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ )
3. Оксид железа (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

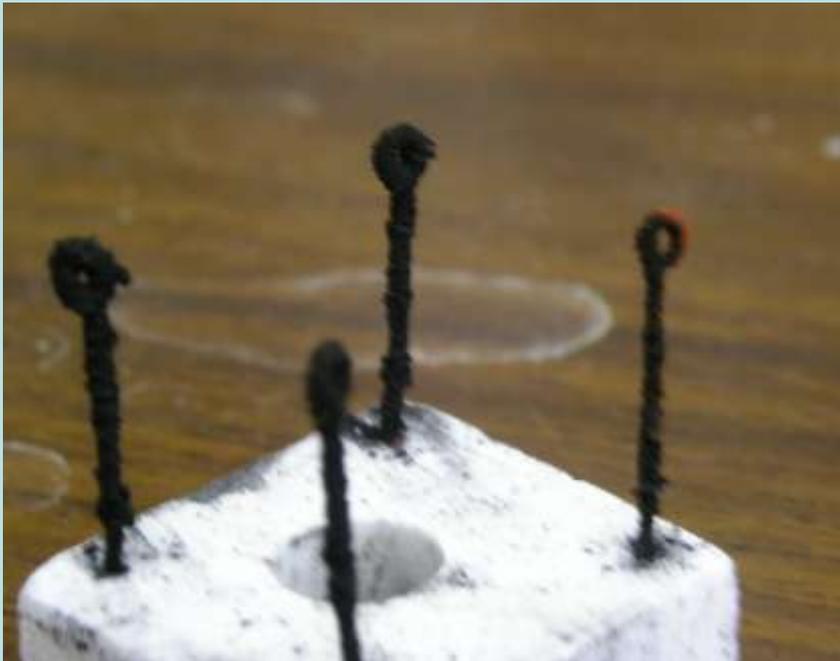


Микрофотография нанотрубной плёнки

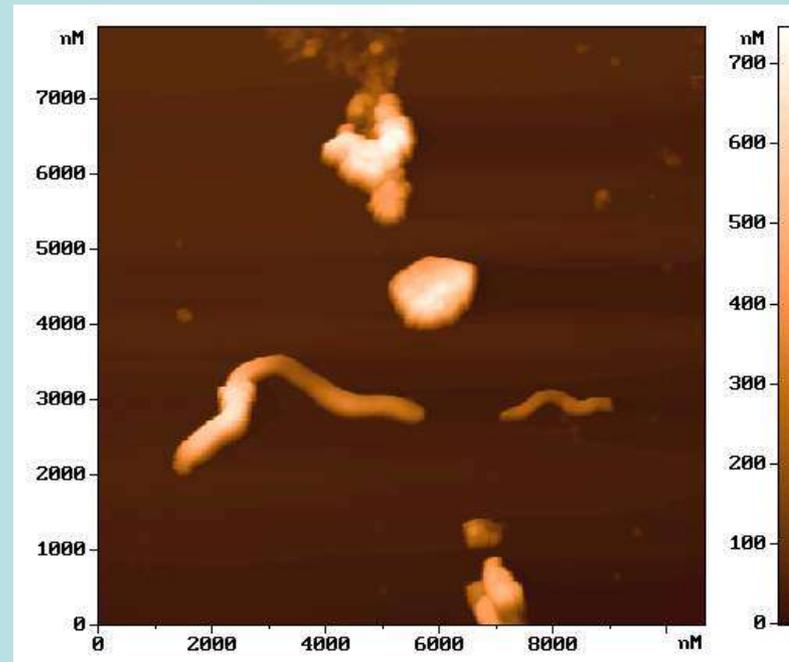
Топография косички углеродных нанотрубок ( $D=7$  нм)

## Катализаторы

### 4. Электрохимически обработанная подложка



Каркасная структура



Топография углеродных нановолокон ( $D \sim 250$  nm)

# Катализаторы

## 5. Тонкая плёнка никеля

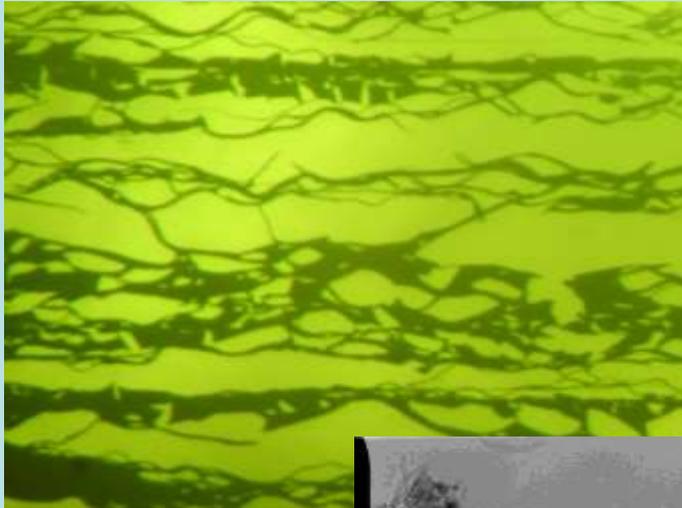
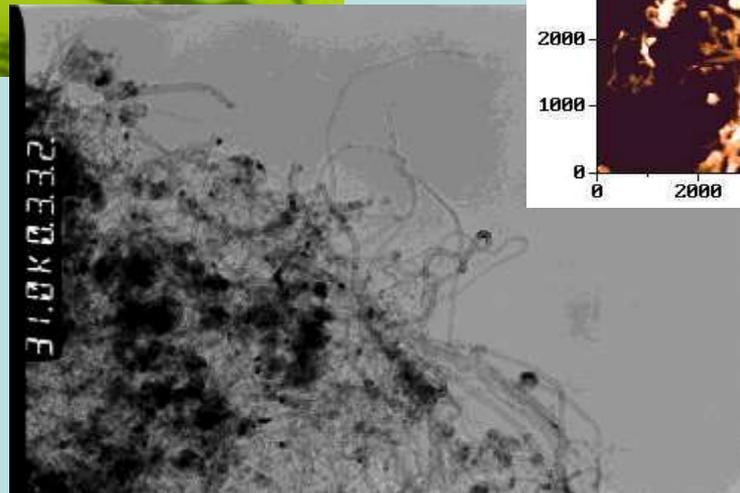
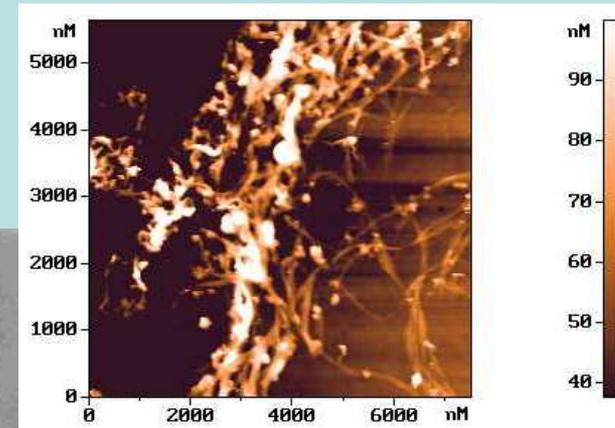


Фото макропучков  
углеродных  
нанотрубок  
выросших на  
никелевой плёнке



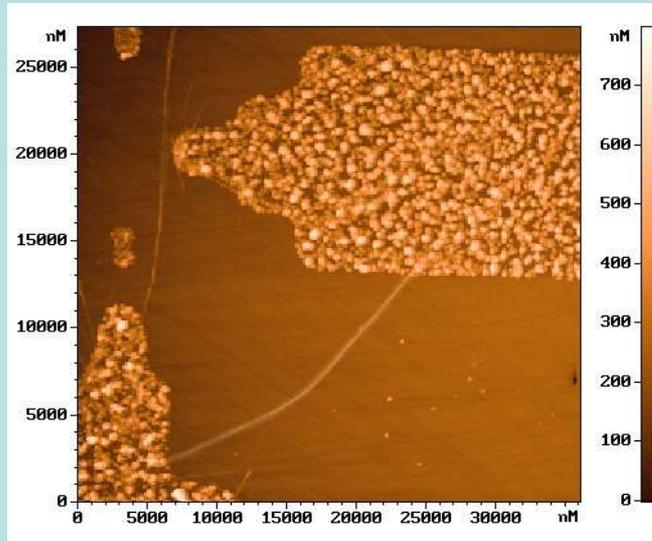
Электроннография сетки  
углеродных нанотрубок

Топография сетки  
углеродных нанотрубок

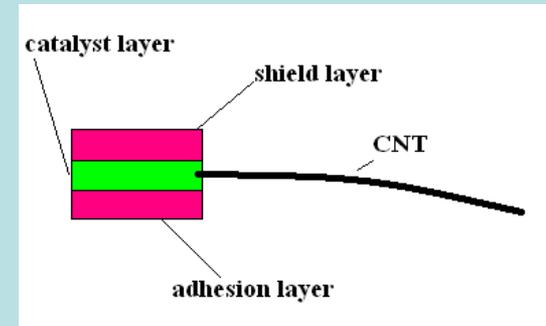


# Катализаторы

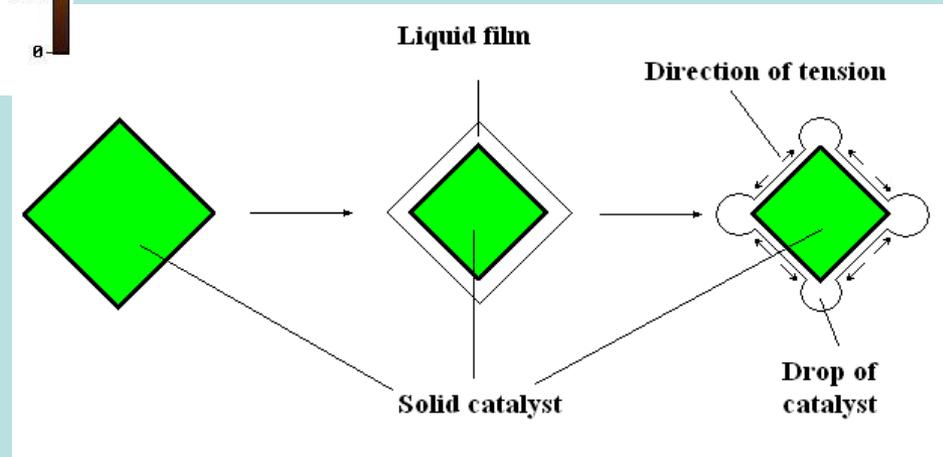
## 6. Сэндвич-катализатор



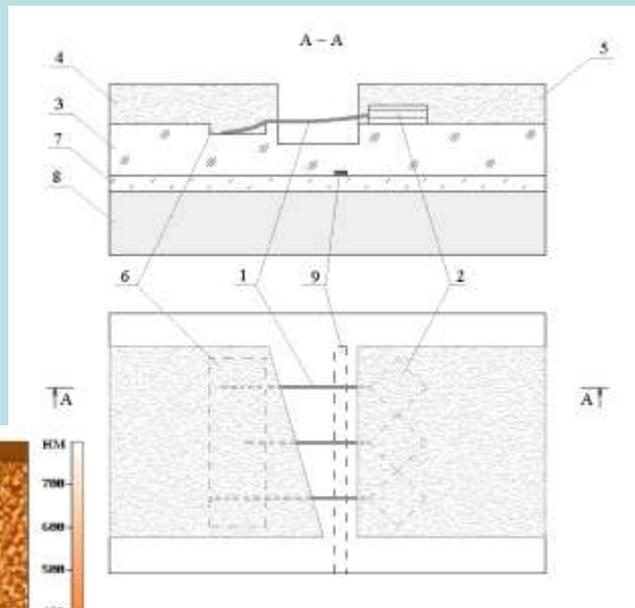
Топография планарных углеродных нанотрубок



Особенности роста нанотрубок на сэндвич-катализаторах

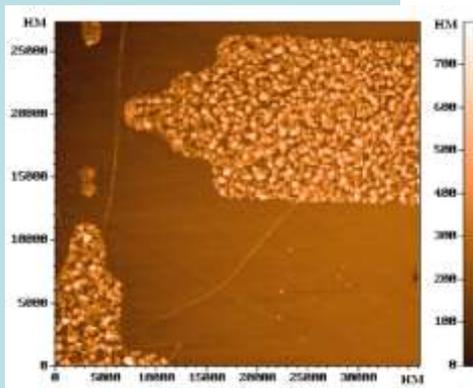


## Структура «Наноарфа»



Структура является наноэлектромеханическим резонатором на основе углеродных нанотрубок

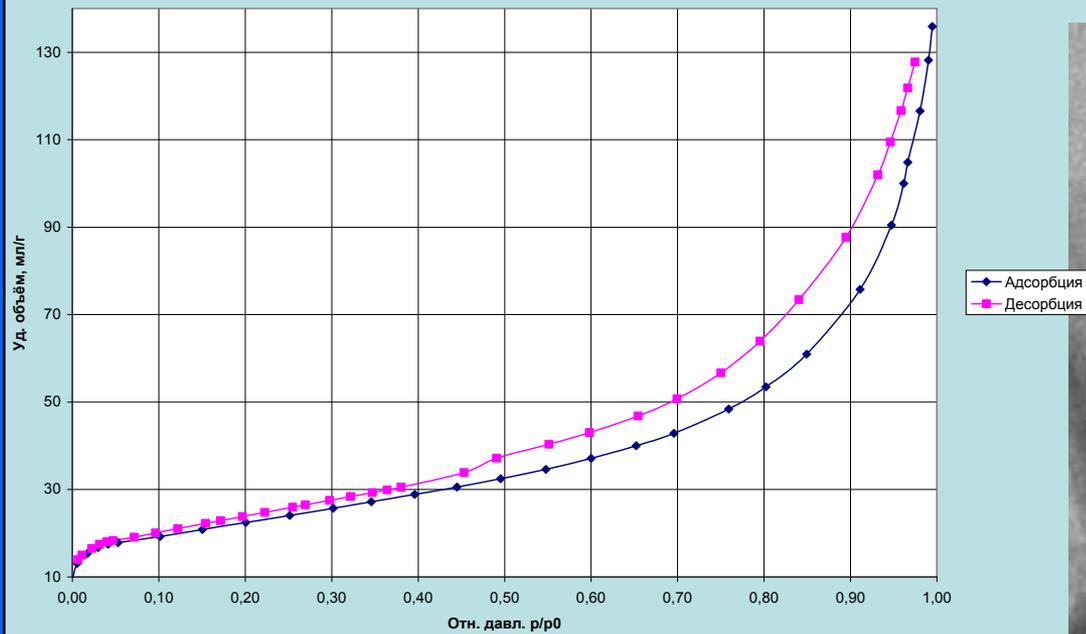
1. Углеродная нанотрубка
2. Многослойный катализатор
3. Диэлектрик
4. Исток
5. Сток
6. Ловушка
7. Диоксид кремния
8. Кремниевая подложка
9. Затвор



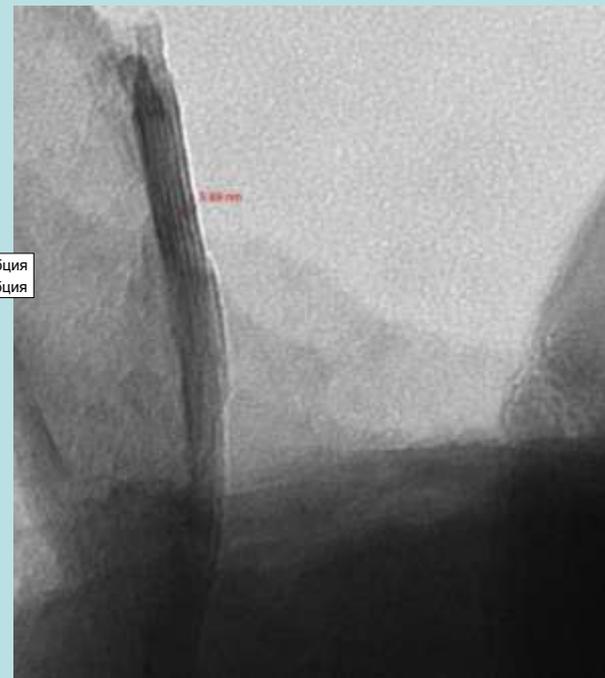
• Хартов С.В., Симунин М.М., Неволин В.К., Бобринецкий И.И. Селективный датчик газов на основе системы осциллирующих нановолокон // Патент на изобретение № 2317940 с приоритетом от 04 августа 2006 г. РФ.

• Симунин М.М., Хартов С.В., Неволин В.К. Способ формирования селективного датчика газов на основе системы осциллирующих углеродных нанотрубок // Патент на изобретение № 2314252 с приоритетом от 04 августа 2006 г. РФ.

## Цеолиты на основе углеродных нанотрубок



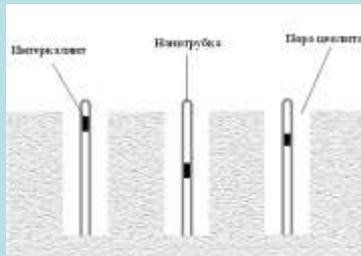
Кривая адсорбции азота



ПЭМ-изображение НТ@цеолит  
(получено ИФХ РАН)

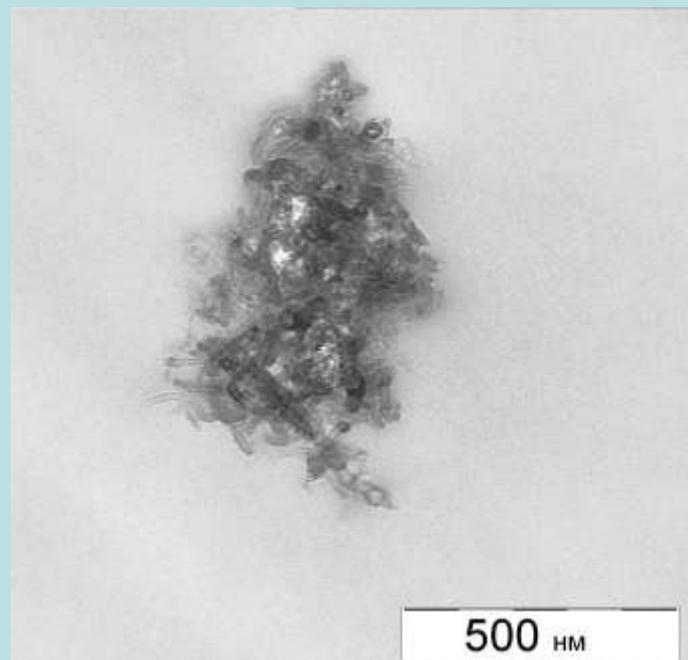
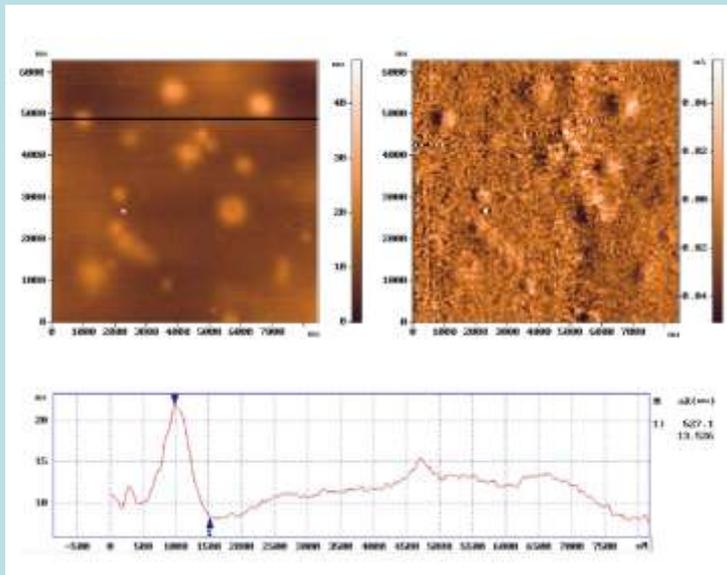


Фото модифицированного  
цеолита вместе с исходным



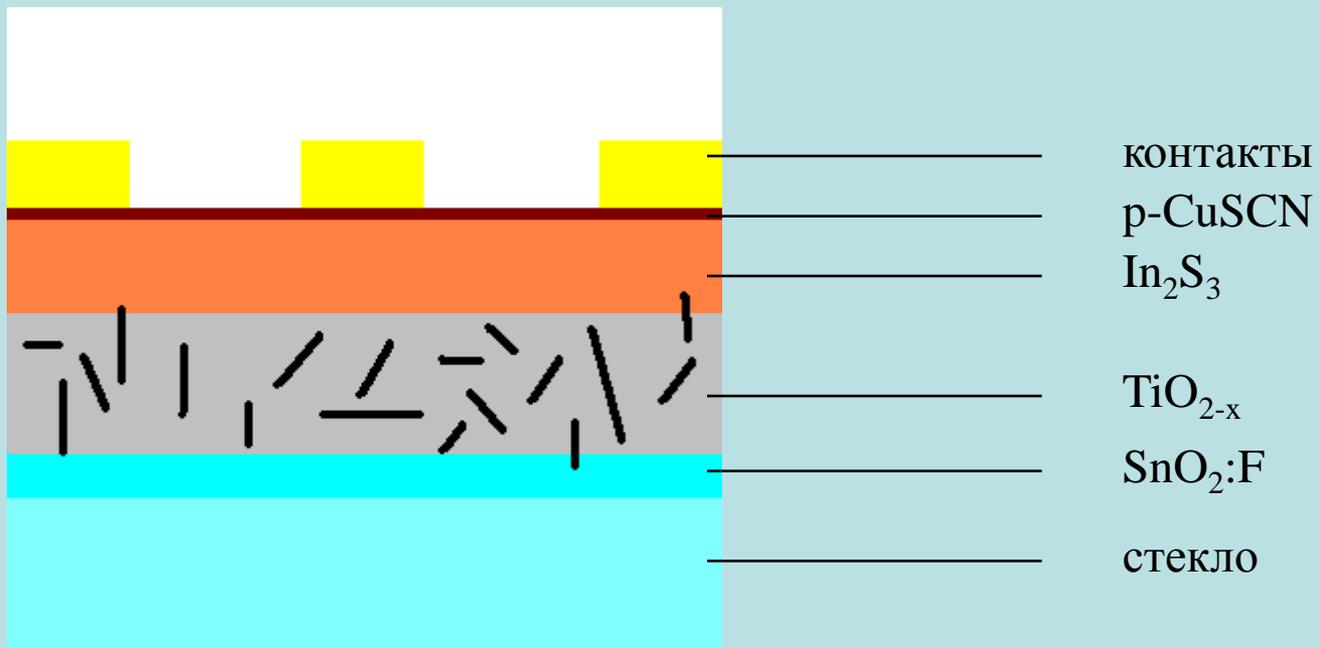
## Биосовместимые нанокompозиты

### Альбумин с углеродными нанотрубками



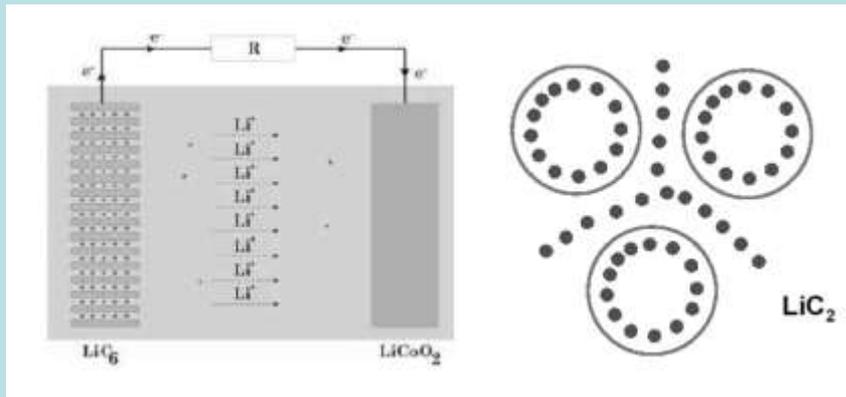
	Твёрдость, кг/см <sup>2</sup>	Терм. стойкость, С
Альбумин	50±4	≥50
Компаундированный альбумин	180±40	≥100

## Композитные фотозлектроды

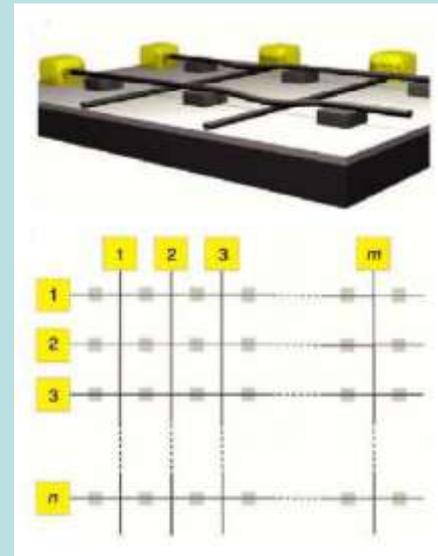


КПД = 1,7% → 2,3 %

# Применение



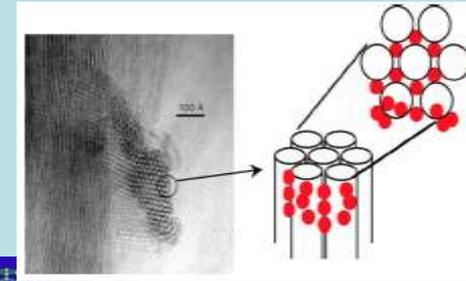
Аккумуляторы



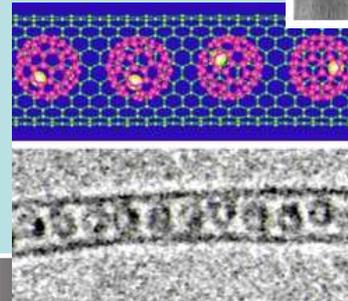
Запоминающие устройства

## Применение

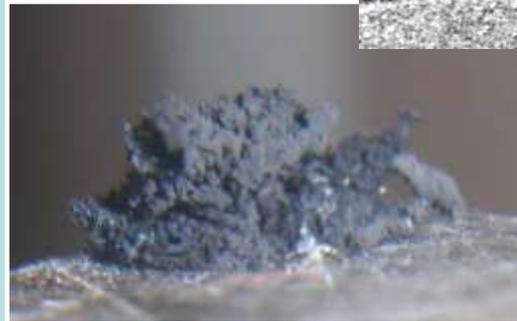
Водородные батареи



Носители веществ



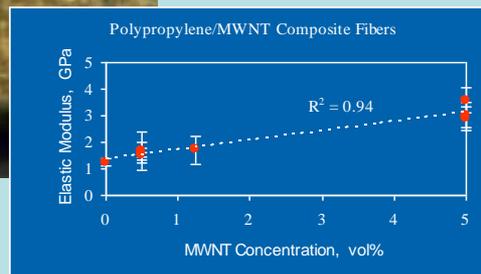
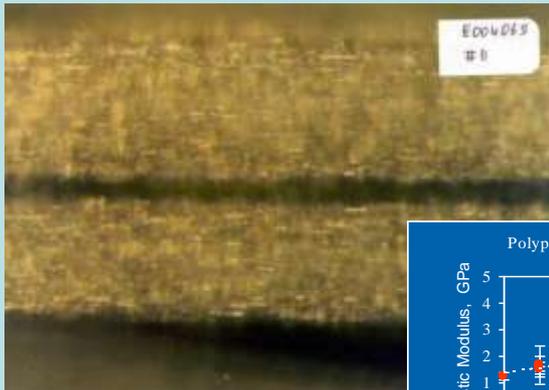
Сорбенты



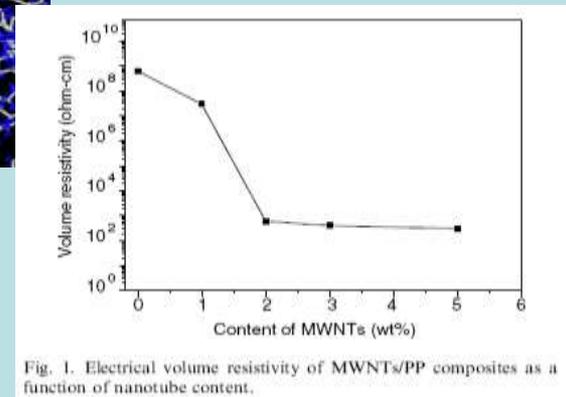
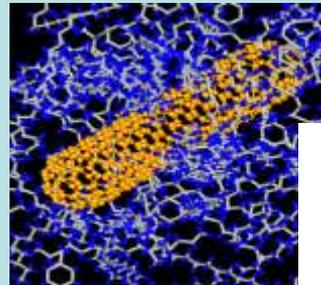
# Применение



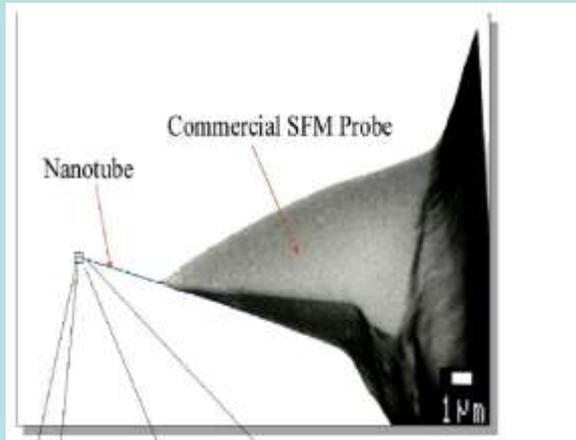
Сверхпрочные материалы



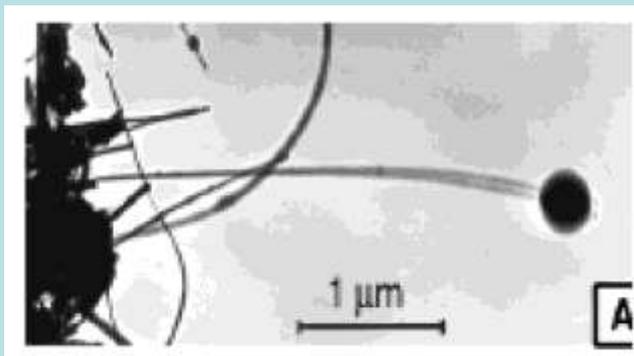
## Проводящие материалы



## Применение



Вискеры



Весы



Манипуляторы

Спасибо за внимание