

Графен, углеродные нанотрубки

Подготовили студенты гр. РММ2-41

Пономарёв К.Е.

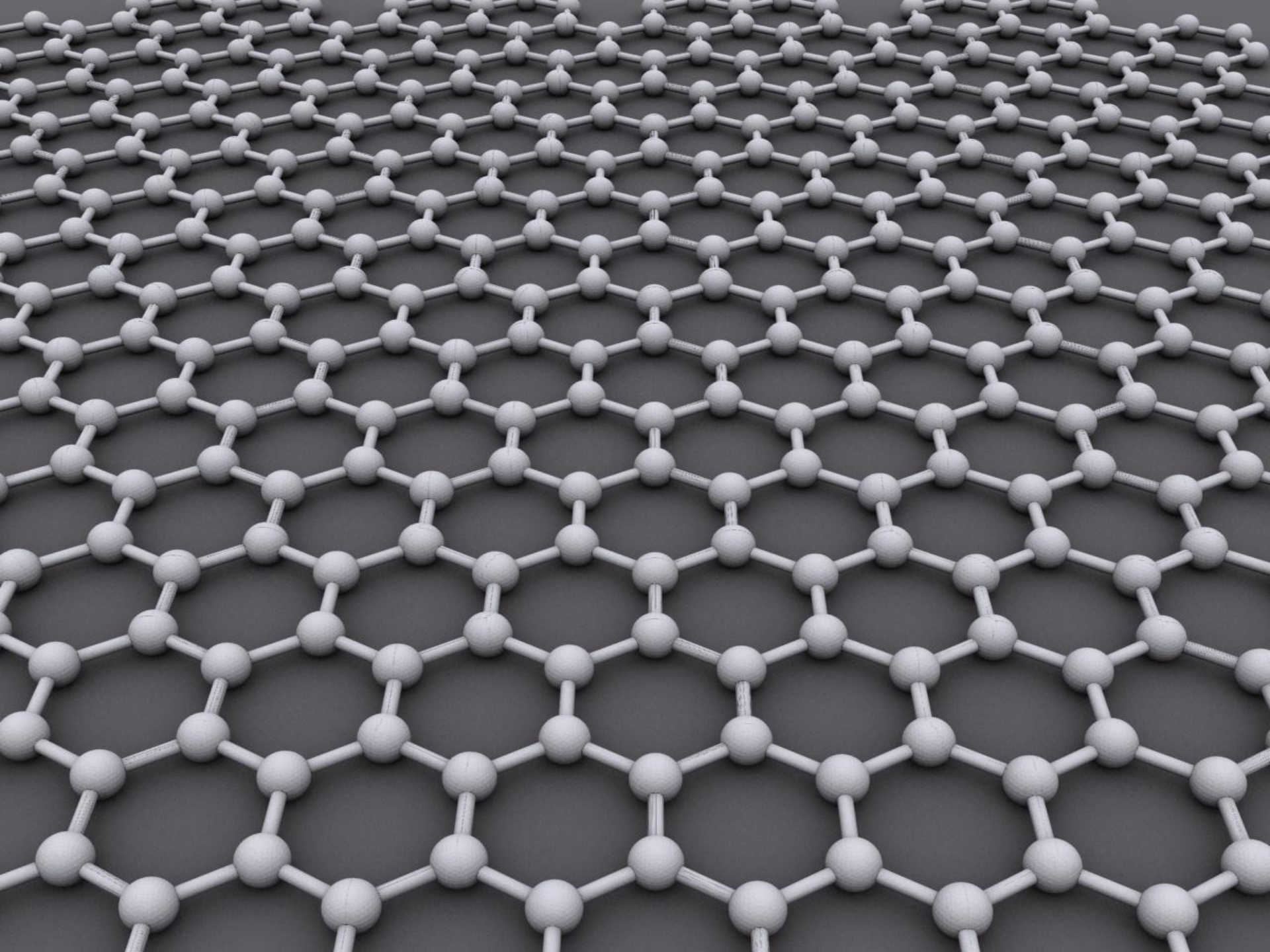
Винникова А.И.

Графен

- История
- Физические свойства
- Методы получения
- Применение

История

- Бенджамин Броуди 1859 г.
- В 1947 П. Уоллес рассчитал зонную структуру графена
- В 1986 году Бём с коллегами предложил термин *графен*
- Транспортные измерения на плёнках с десятками слоёв провёл в 1997—2000 годах Йошико Охаши он продемонстрировал эффект электрического поля на сопротивление плёнок и измерил осцилляции Шубникова-де-Гааза
- В 2004 в Манчестерском университете Андрей Гейм и Константин Новоселов с коллегами получили первые образцы графена высокого кристаллического качества.

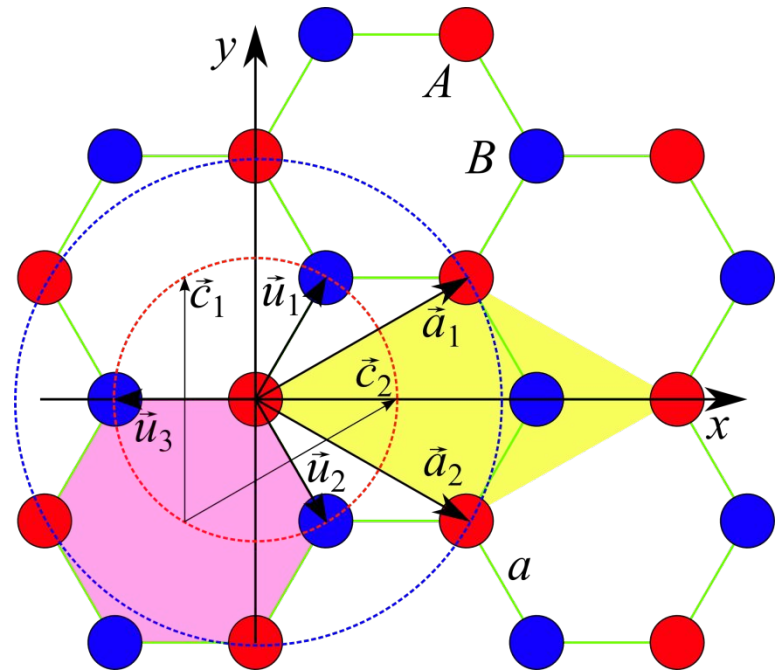


Уникальные свойства графена

- Подвижность при комнатной температуре достигает $200000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$
- Подвижность при гелиевых температурах $10^6 - 10^7 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$
- Большая механическая жесткость $\sim 1\text{ТПа}$
- Рекордная теплопроводность $\sim 5 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ (для сравнения у меди $401 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ у алюминия $237 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$)

Кристаллическая решетка

Кристаллическая решетка графена представляет собой плоскость, состоящую из шестиугольных ячеек, то есть является двумерной гексагональной кристаллической решёткой.



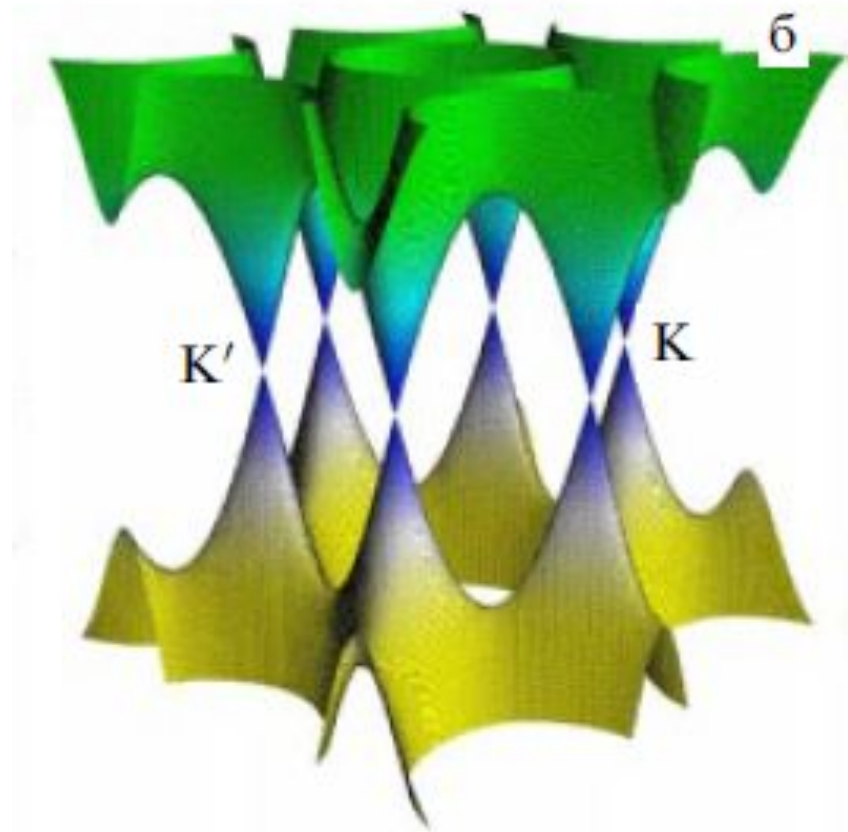
$$\vec{r}_{n,m} = m\vec{a}_1 + n\vec{a}_2$$

Зонная структура

Отсутствие щели между валентной зоной и зоной проводимости в графене обусловлено симметрией между подрешетками.

Линейный закон дисперсии:

$$E = \hbar v_F k,$$



Квантовый эффект Холла

Новоселов К. и
др. УФН 2008

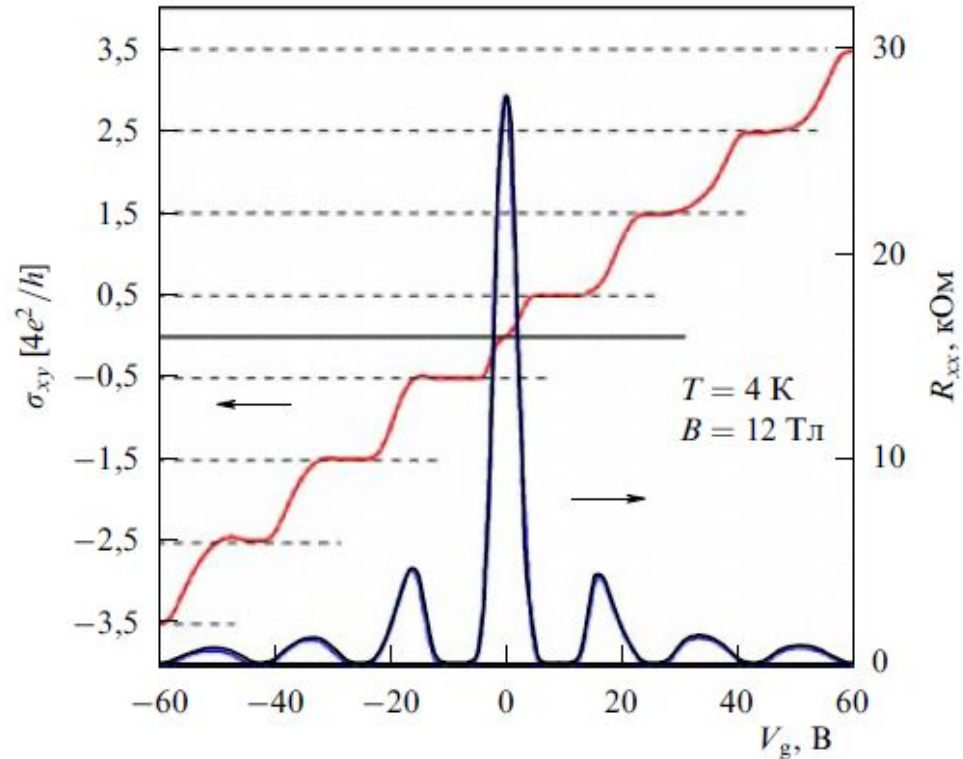
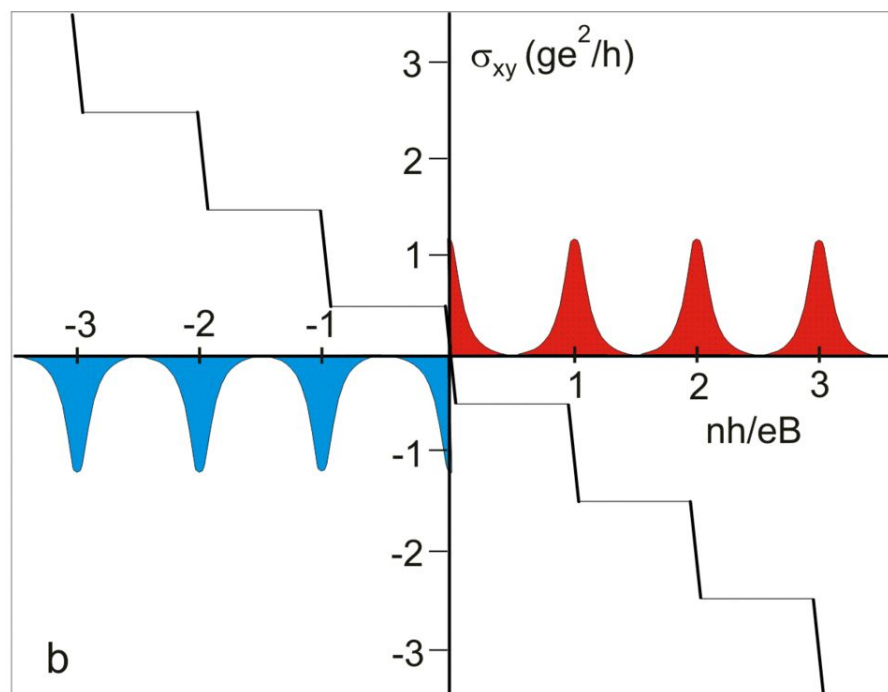
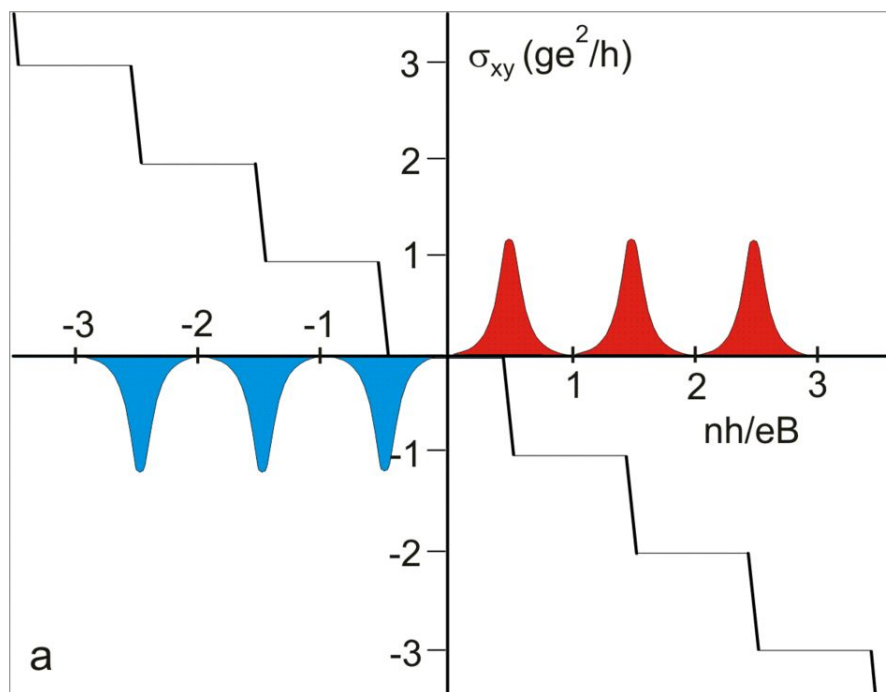


Рис. 5. Продольное магнетосопротивление и холловская проводимость в графене как функции напряжения на затворе. Полуцелое квантование подтверждает то, что квазичастицы в графене являются безмассовыми дираковскими фермионами.

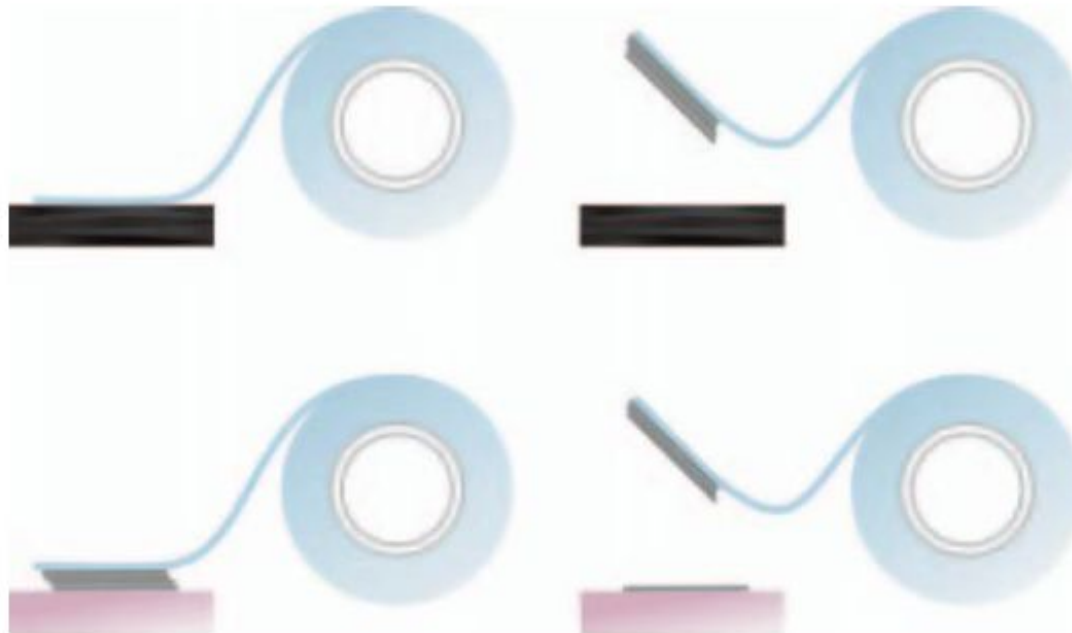
Квантовый эффект Холла



Методы получения графена

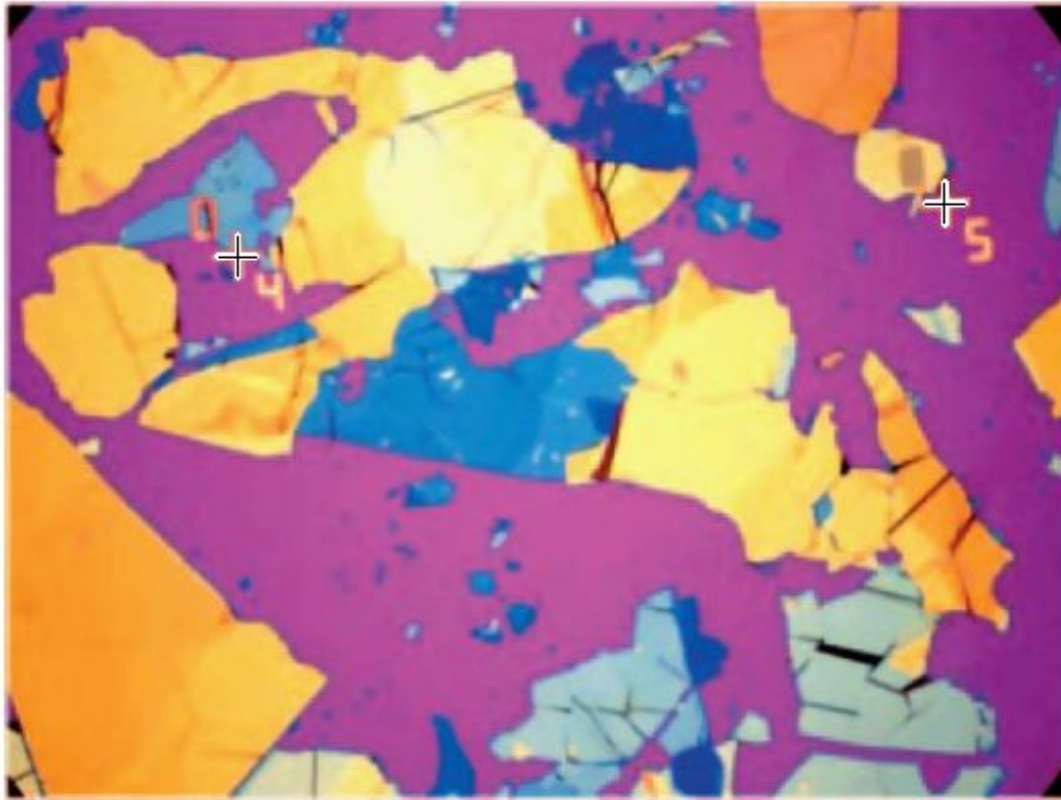
- Микромеханическое расслоение графита
- Жидкофазное расслоение графита
- Окисление графита
- Получение графена методом осаждения из газовой фазы (CVD)
- Получение графена в электрической дуге
- Термическое разложение SiC
- Эпитаксиальное выращивание на металлической подложке

Метод микромеханического расслоения



Метод микромеханического расслоения (или метод клейкой ленты) для изготовления графена. Верхний ряд: клейкая лента используется, чтобы отщипить несколько верхних слоёв графита от объёмного кристалла. Внизу слева: лента с чешуйками графита затем прижимается к выбранной подложке. Внизу справа: некоторые чешуйки остаются на подложке даже после удаления ленты.

Метод микромеханического расслоения



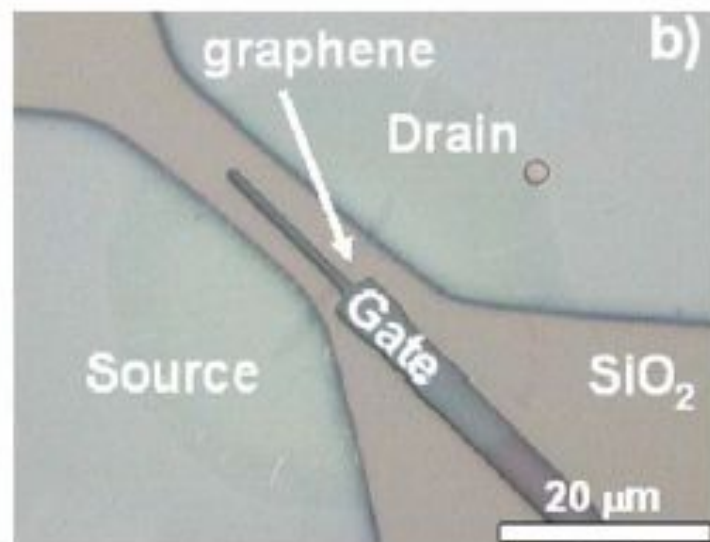
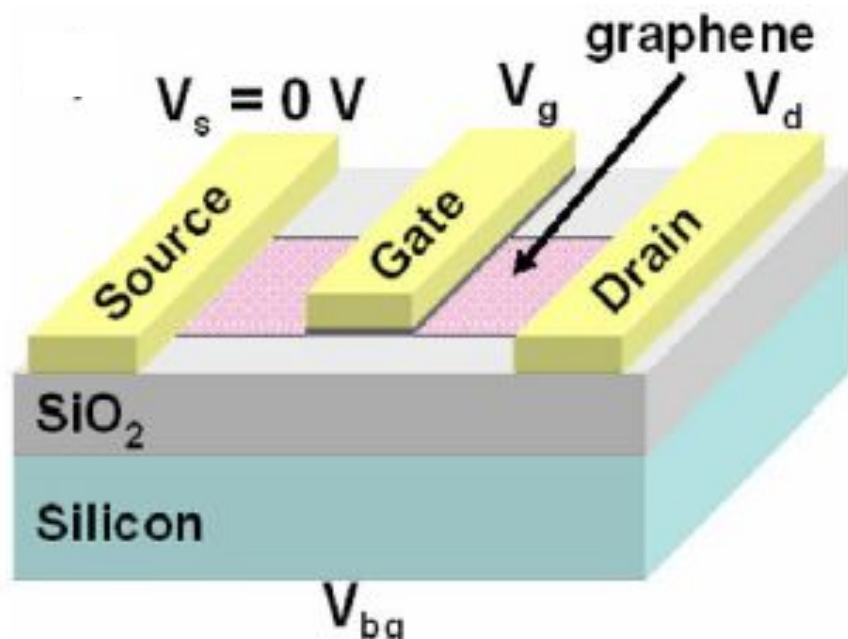
Новоселов К., Графен –
материал Флатландии,
УФН 2010

Тонкие графитовые чешуйки на поверхности пластины Si/SiO₂ (слой SiO₂ толщиной 300 нм фиолетового цвета). Разные цвета отвечают чешуйкам разной толщины, от ~ 100 нм (бледно-жёлтые) до нескольких нанометров (наиболее близкие к фиолетовому). Масштаб задан расстоянием между литографически-ми отметками (200 мкм).

Применение графена

- Создание транзистора
- Создание высокочувствительного сенсора
- И многое другое

Транзистор на графене



Из-за отсутствия щели в энергетическом спектре графена транзистор не может быть полностью закрыт

Решение:

Создание Щели в двухслойном графене под действием электрического поля

Сенсор

- Принцип действия этого сенсора заключается в том, что разные молекулы выступают донорами и акцепторами, что в свою очередь ведёт к изменению сопротивления графена.
- В этой работе исследовались такие вещества, как NH₃, CO, H₂O, NO₂

Schedin F. *et. al.* Detection of Individual Gas Molecules Absorbed on Graphene Nature Materials 6, 652 (2007)

Углеродные нанотрубки

- **Нанотрубка** — это молекула из более миллиона атомов углерода, представляющая собой трубку с диаметром около нанометра и длиной несколько десятков микрон.

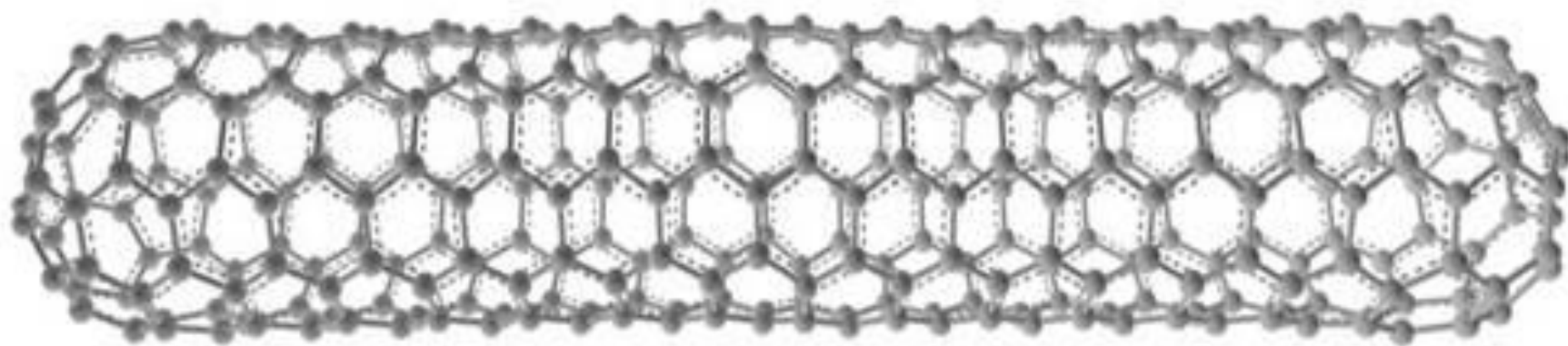


Рис. Общий вид нанотрубки

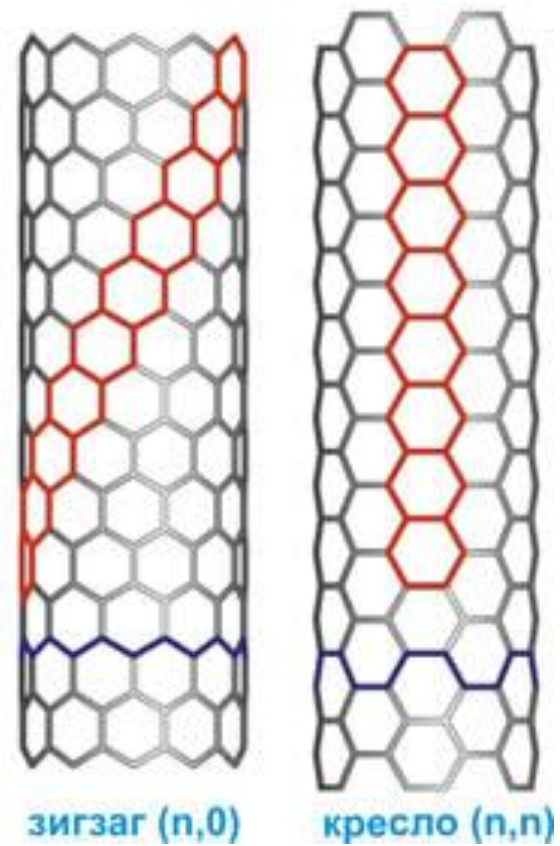
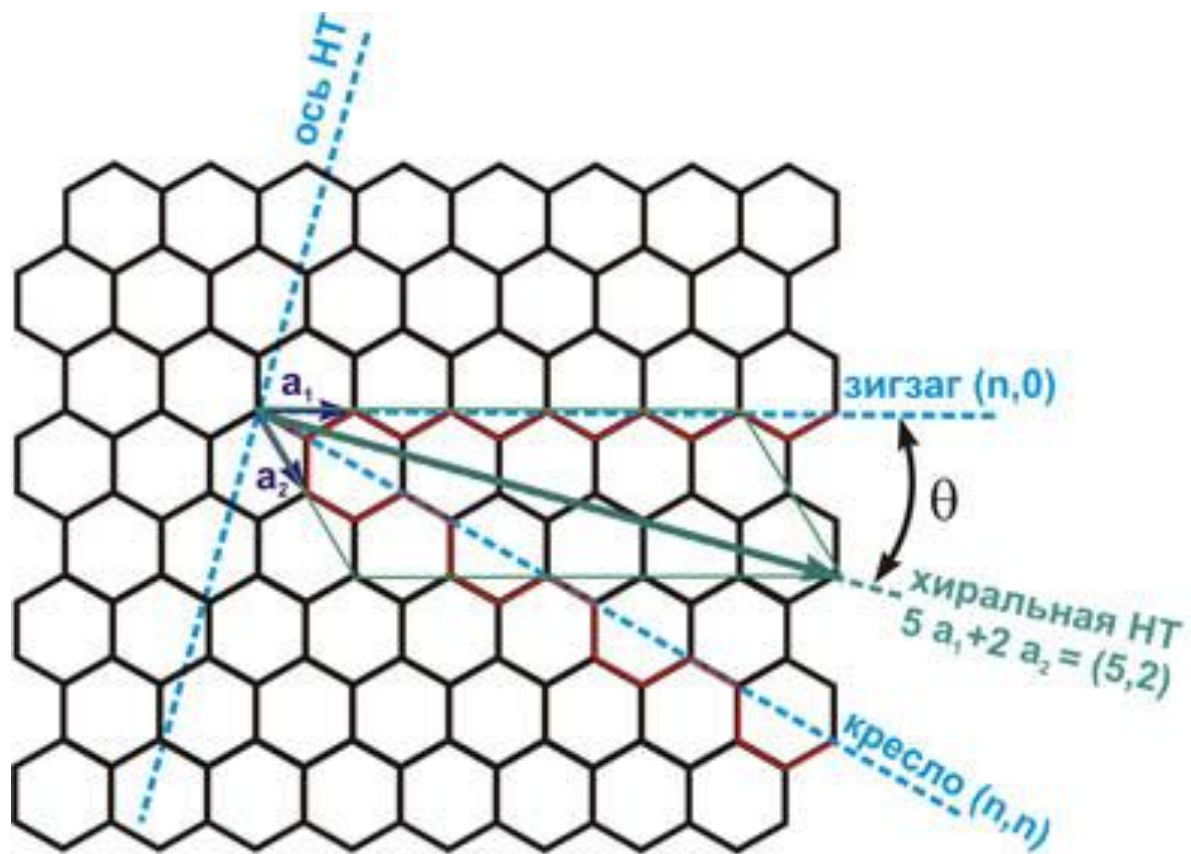
- **Хиральность** — отсутствие симметрии относительно правой и левой стороны. Обозначается символами (m, n) - координаты шестиугольника, который в результате «сворачивания» графеновой плоскости должен совпасть с шестиугольником, находящимся в вершине координат.
- **Диаметр нанотрубки:**

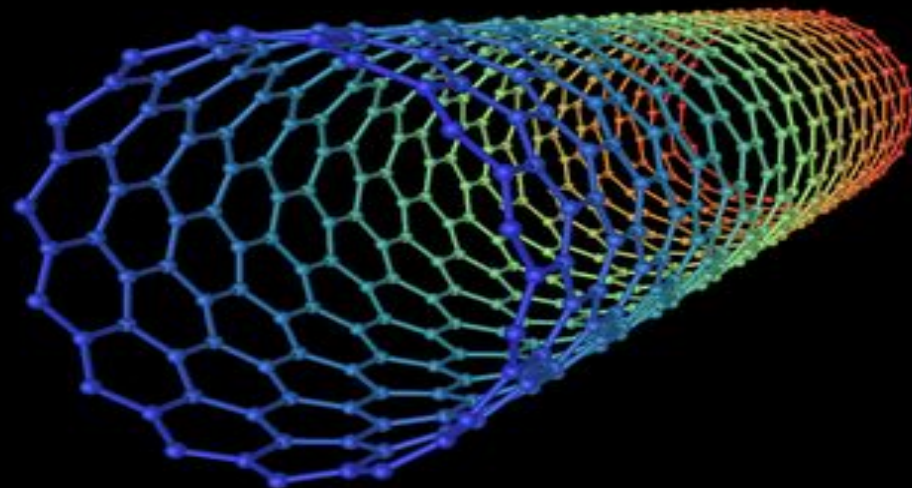
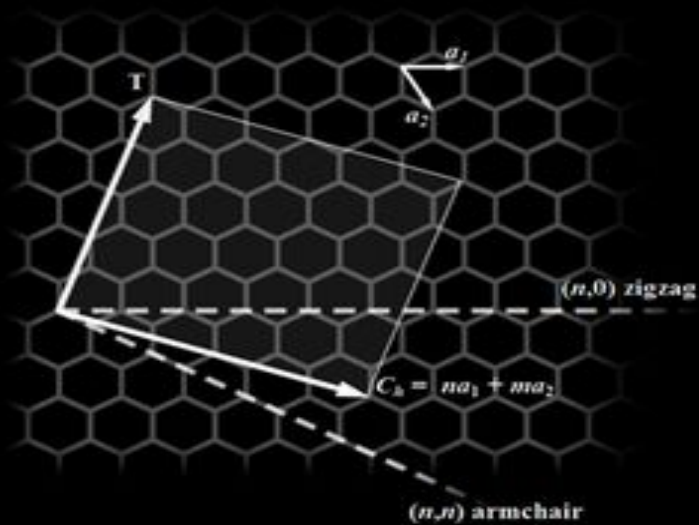
$$D = \frac{\sqrt{3}d_0}{\pi} \cdot \sqrt{m^2 + n^2 + mn}$$

где d_0 — расстояние между соседними атомами углерода в графитовой плоскости.

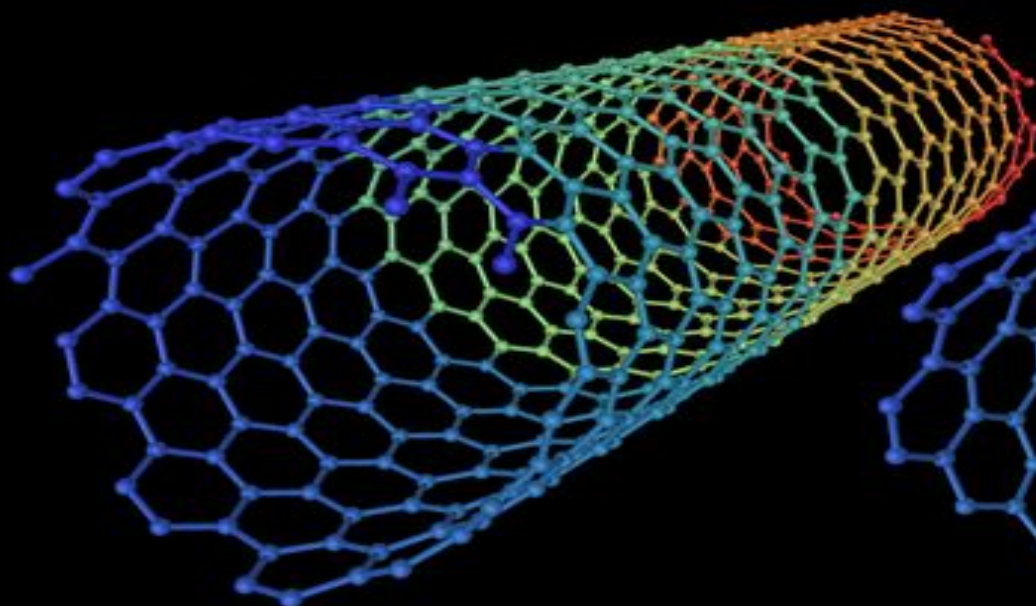
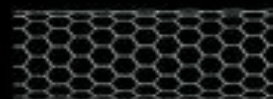
Виды хиральности:

- 1. *Ахиральные типа «кресла»*. Две стороны каждого шестиугольника ориентированы перпендикулярно оси УНТ, индексы (n,n) .
- 2. *Ахиральные типа «зигзаг»*. Две стороны каждого шестиугольника ориентированы параллельно оси УНТ, индексы $(n,0)$.
- 3. *Хиральные или спиралевидные*. Каждая сторона шестиугольника расположена к оси УНТ под углом, отличным от 0 и 90° , индексы (n,m) .

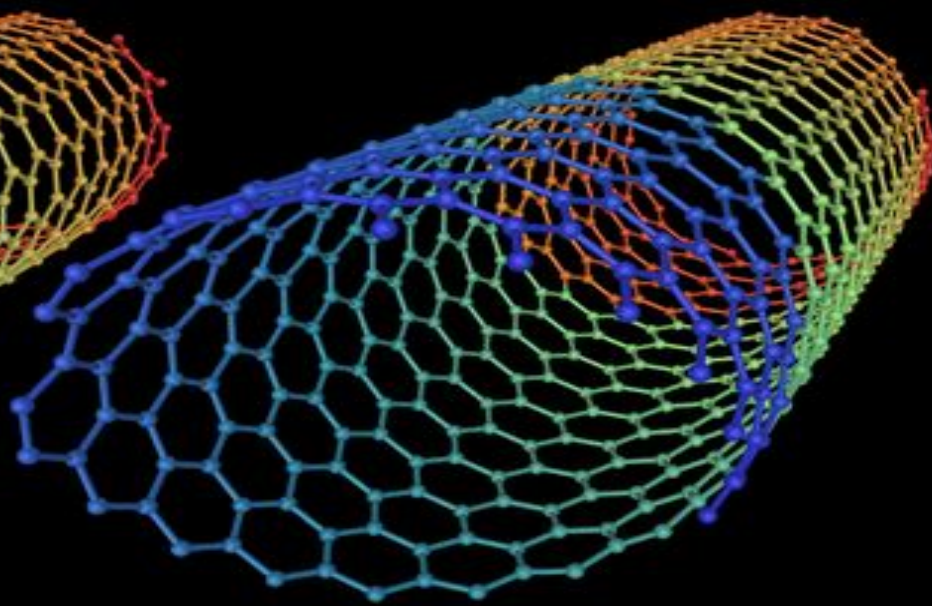




(0,10) nanotube
(zig-zag)



(7,10) nanotube
(chiral)

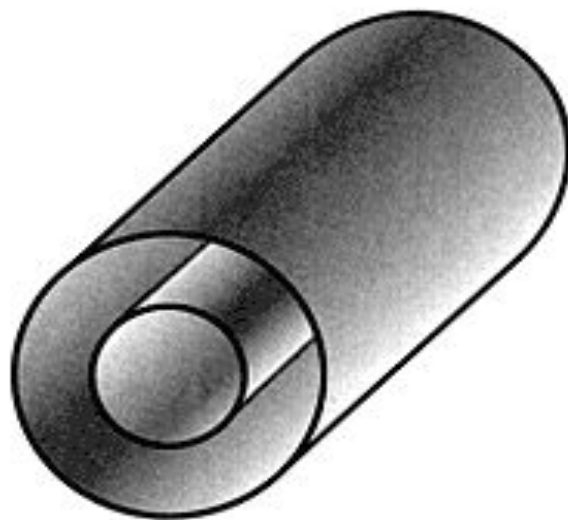


(10,10) nanotube
(armchair)

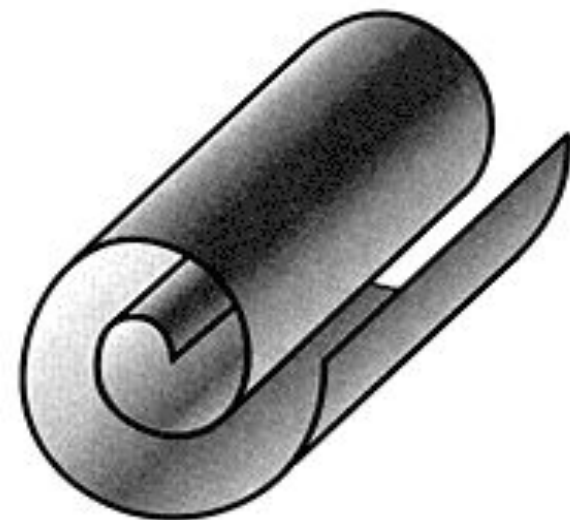


Классификация

- **Однослойные нанотрубки** – имеют 3 вида хиральности («зигзаг», «кресло», «спираль»)
- **Многолойные нанотрубки** делятся на 2 вида:
 - «русская матрешка»;
 - «СВИТОК»



русская матрешка



СВИТОК

Свойства

● *Механические свойства:*

1. Удельная плотность (г/см^3) – $1.3 \cdot 10^{-2}$
2. Модуль Юнга (ГПа) – 1
3. Предел прочности (ГПа) – 10-60
4. Удлинение при разрыве (%) – 10

● *Транспортные свойства:*

1. Удельная теплопроводность ($\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$) > 3000
2. Электропроводность (См/м) – 10^6 - 10^7

Методы синтеза

- *Дуговой разряд* – сущность этого метода состоит в получении углеродных нанотрубок в плазме дугового разряда, горящей в атмосфере гелия, на технологических установках для получения фуллеренов.
- *Лазерная абляция* – основан на испарении графитовой мишени в высокотемпературной реакторе.
- *Химическое осаждение из газовой фазы* – позволяет получать покрытия различной структуры на поверхностях сложной формы, в том числе с высокой степенью кривизны.

Применение

- Проводящие пластмассы
- Структурные композиционные материалы
- Микро-и наноэлектроника
- Ультраконденсаторы (ионисторы)
- Зонды для атомно-силового микроскопа (АСМ)
- Элементы питания с улучшенным сроком службы
- Газовые биосенсоры
- Высокопрочные волокна

Графен, углеродные нанотрубки

Подготовили студенты гр. РММ2-41

Пономарёв К.Е.

Винникова А.И.