

Наблюдение на СТМ коробчатой наноструктуры из графена, возникшей при механическом скалывании пиролитического графита

Р. В. Лапшин

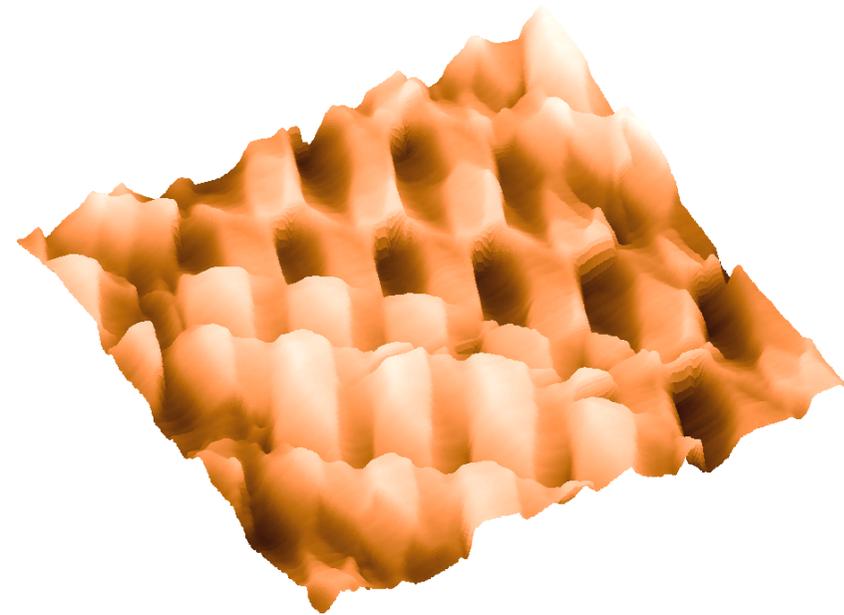
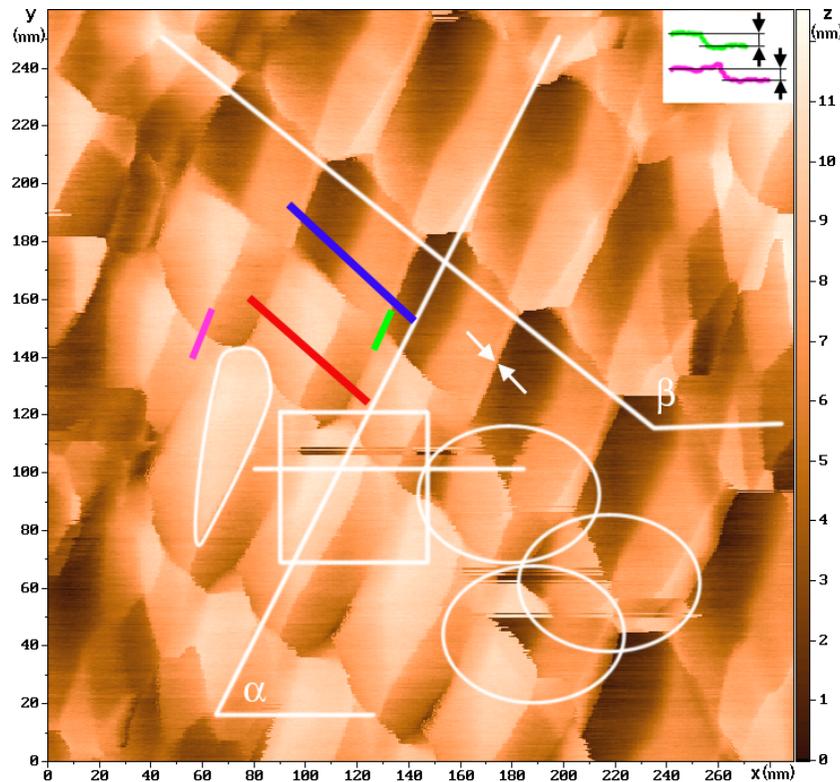
НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина, 124460, г. Зеленоград, Россия
Московский институт электронной техники, 124498, г. Зеленоград, Россия
эл. почта: rlapshin@yahoo.com

Черноголовка, 2013

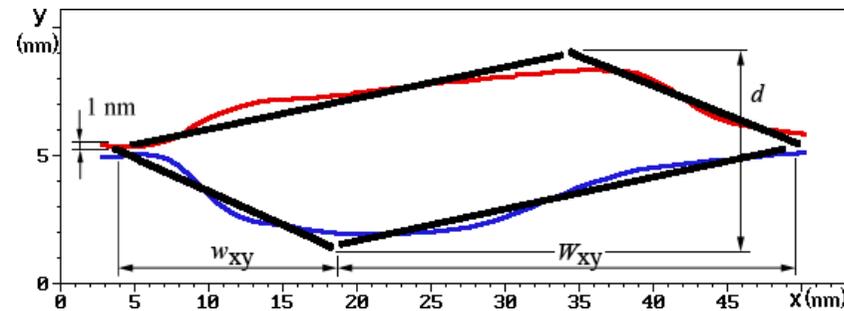
Краткое описание

Обнаружена объёмная “коробчатая” наноструктура из графена, образовавшаяся/обнажившаяся при механическом скалывании монокристалла высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ). Наноструктура представляет собой многослойную систему параллельных полых каналов с четырёхугольным поперечным сечением. Толщина стенок/граней наноструктуры примерно равна 1 нм. Характерные ширины малой и большой граней составляют порядка 20 нм и 30 нм, соответственно. Изучение наноструктуры с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) позволяет сделать вывод о том, что путём механического сжатия, неупругого изгиба, расщепления и сдвига слоёв графита возможно создание объёмных конструкций из графена подобных представленной

Внешний вид коробчатой наноструктуры



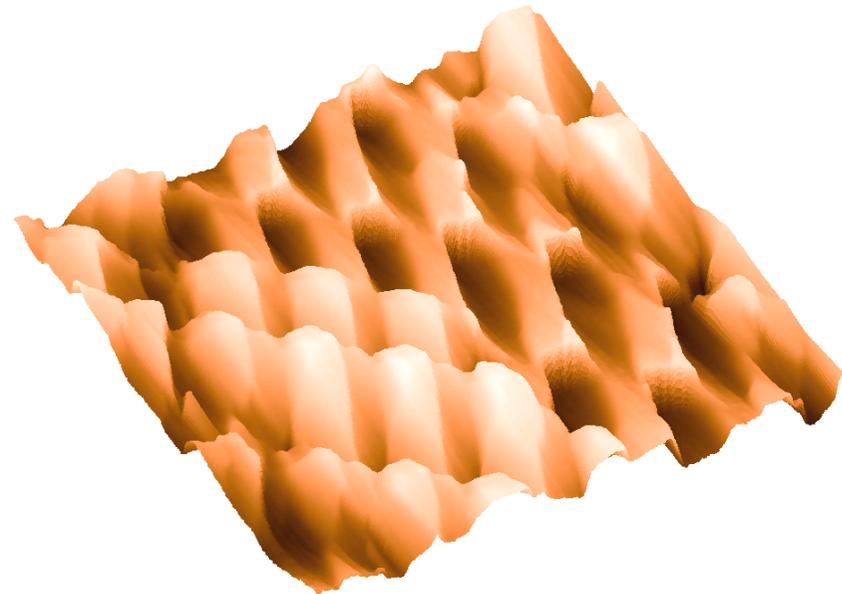
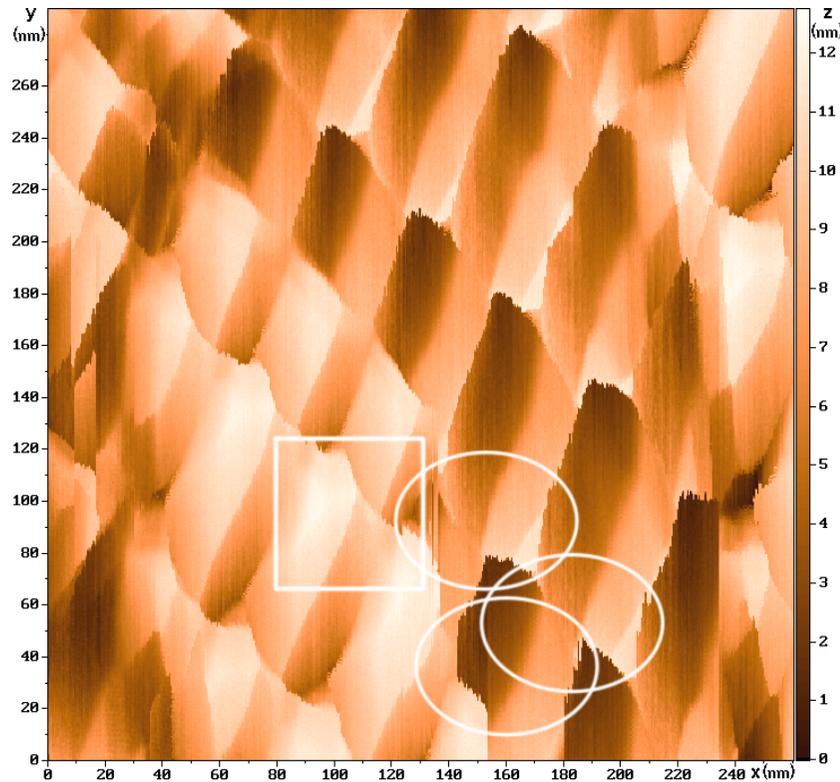
СТМ-изображение 512×512 точек
получено на воздухе в режиме
постоянного тока, $U_{\text{Тун}}=50$ мВ,
 $I_{\text{Тун}}=890$ пА



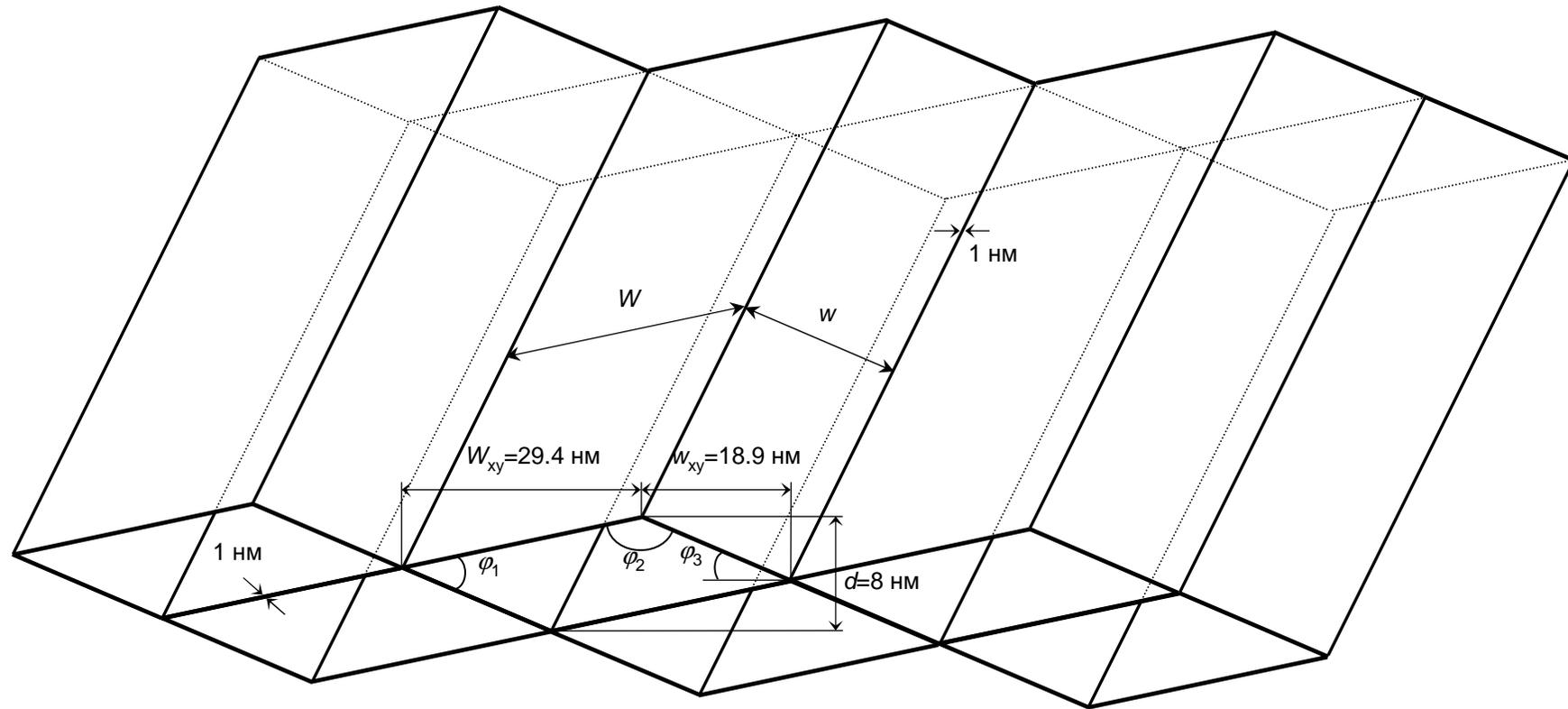
Характерные особенности наноструктуры

- Материал – графен
- Трёхмерность
- Наличие полостей (каналов)
- Нанометровые размеры
- Многоуровневость полостей
- Упорядоченность
- Малая площадь контакта с подложкой
- Большая площадь поверхности
- Простота способа получения

Вид наноструктуры после изменения направления быстрого сканирования



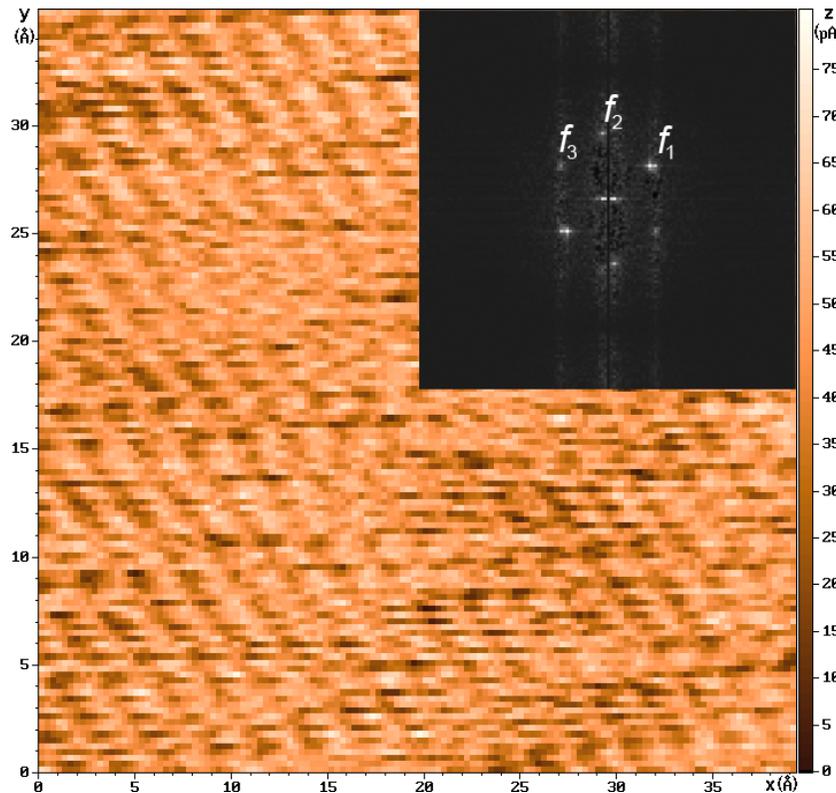
Модельное представление коробчатой наноструктуры



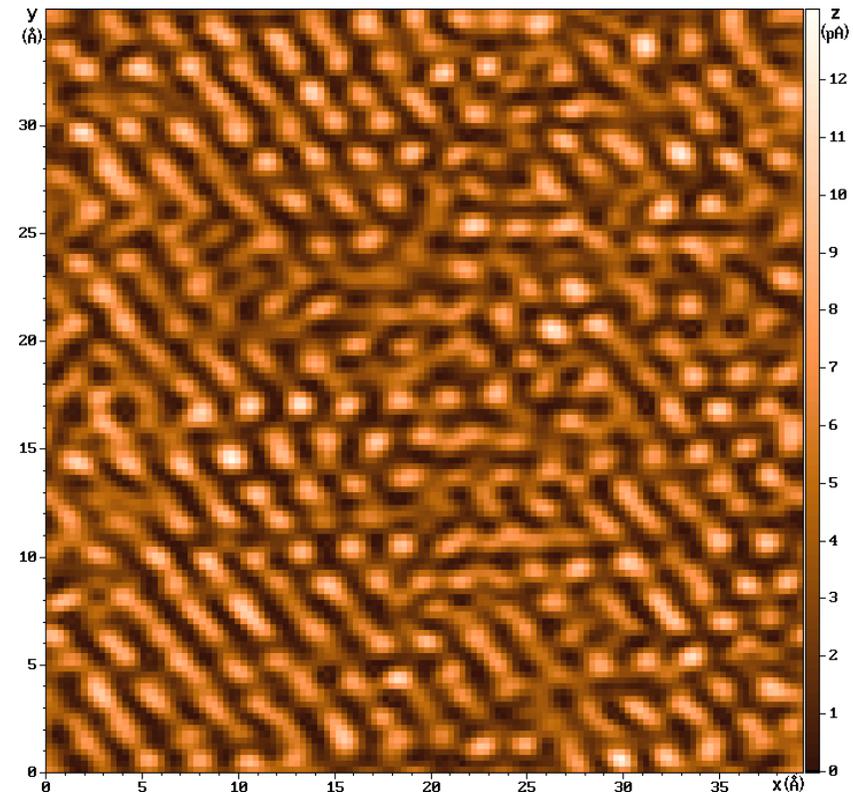
Ширина малой грани $w=19.3 \text{ нм}$, ширина большой грани $W=29.7 \text{ нм}$, $\varphi_1=19.7^\circ$, $\varphi_2=160.3^\circ$, $\varphi_3=12.0^\circ$

Атомарное разрешение на поверхности грани

Исходный СТМ-скан



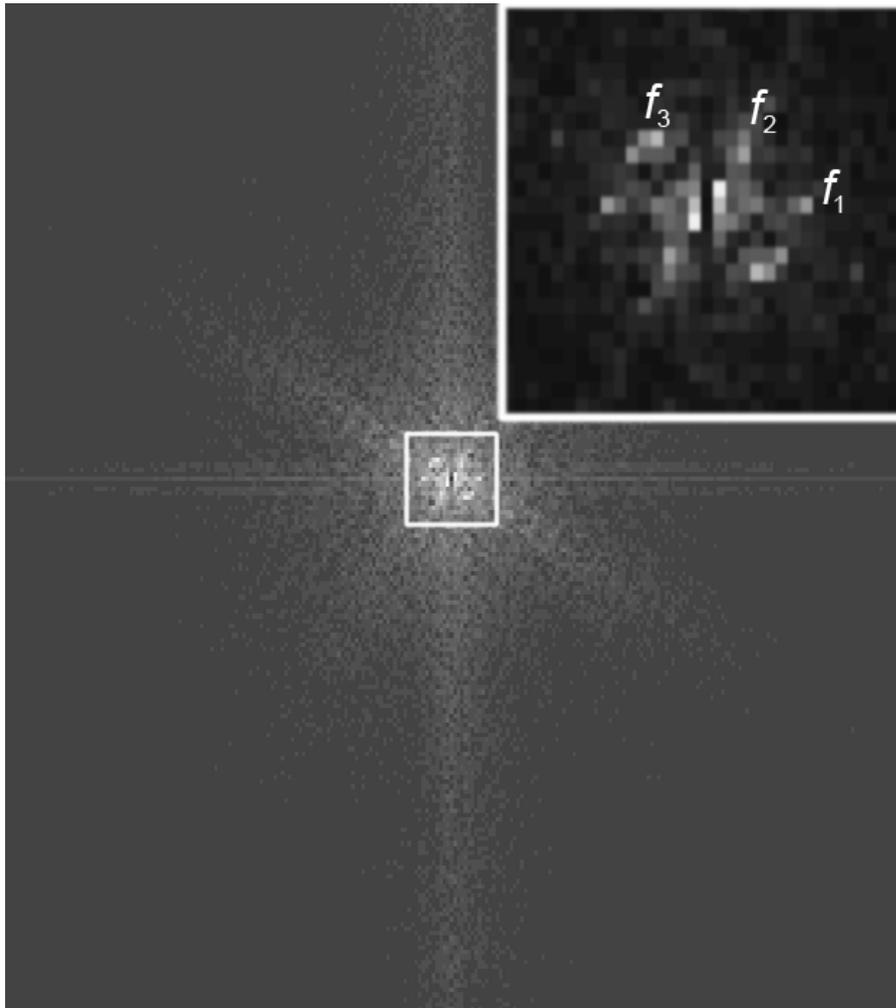
СТМ-скан после фурье-фильтрации



Постоянные решётки: $a_1=2.1 \text{ \AA}$, $a_2=2.8 \text{ \AA}$, $a_3=2.1 \text{ \AA}$.

Кристаллографические направления: $\theta_1=131.1^\circ$, $\theta_2=4.7^\circ$, $\theta_3=58.0^\circ$

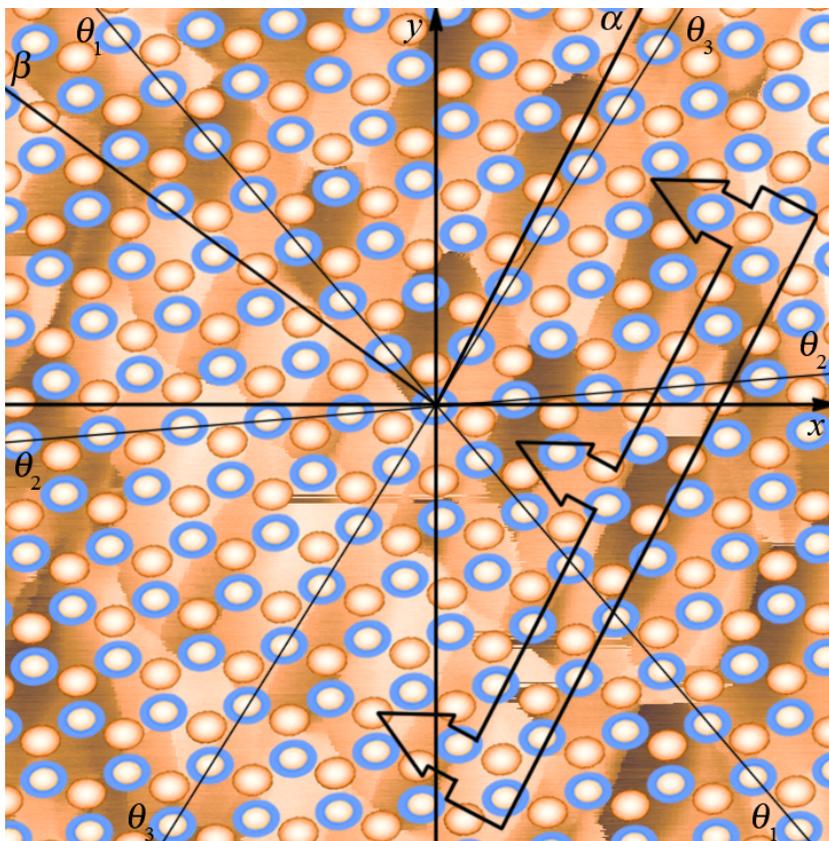
Фурье-спектр коробчатой наноструктуры



Пространственные периоды:
 $1/f_1=36.1$ нм, $1/f_2=64.5$ нм,
 $1/f_3=48.3$ нм

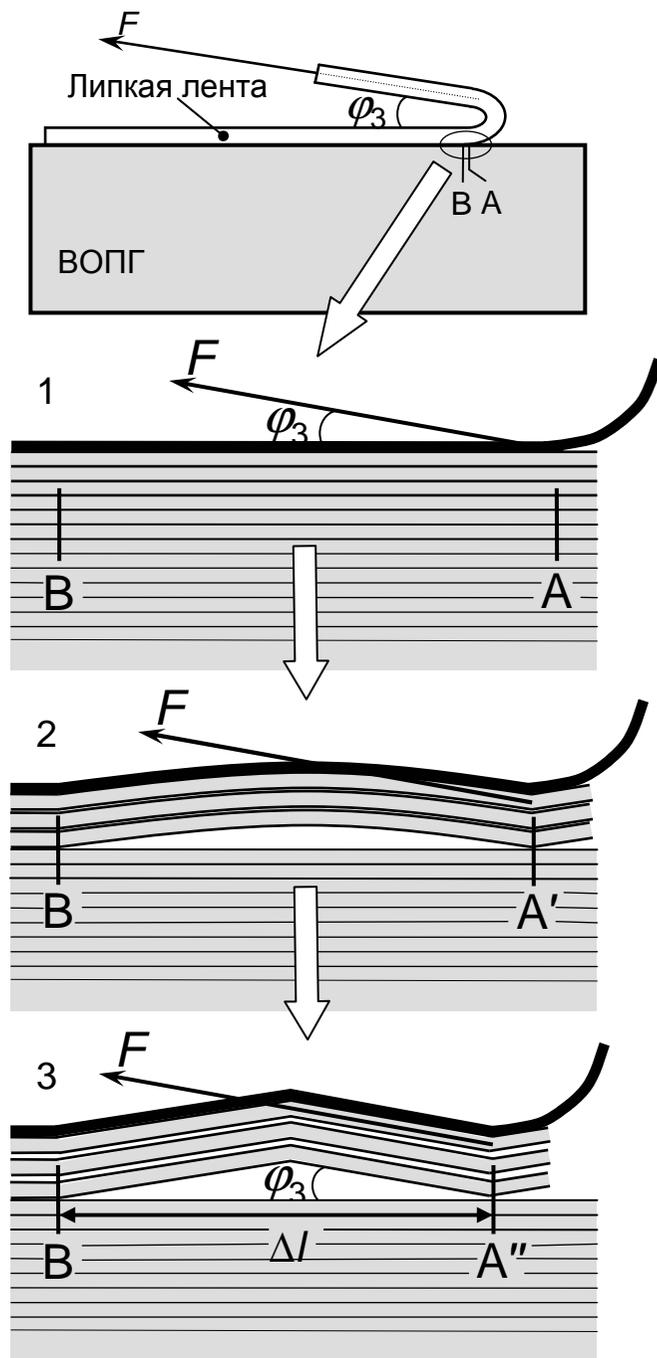
Направления
распространения колебаний:
 $\gamma_1=0.0^\circ$, $\gamma_2=48.1^\circ$, $\gamma_3=139.5^\circ$

Расположение коробчатой наноструктуры относительно кристаллической решётки графита



Направление ориентации каналов $\alpha=62.7^\circ$, направление ориентации срезов краёв мембран открытых ячеек $\beta=143.8^\circ$

Кристаллографические направления на поверхности грани наноструктуры: $\theta_1=131.1^\circ$, $\theta_2=4.7^\circ$, $\theta_3=58.0^\circ$



Образование складки и её расщепление на графеновые слои в ходе пластической деформации изгиба

F – скалывающая сила

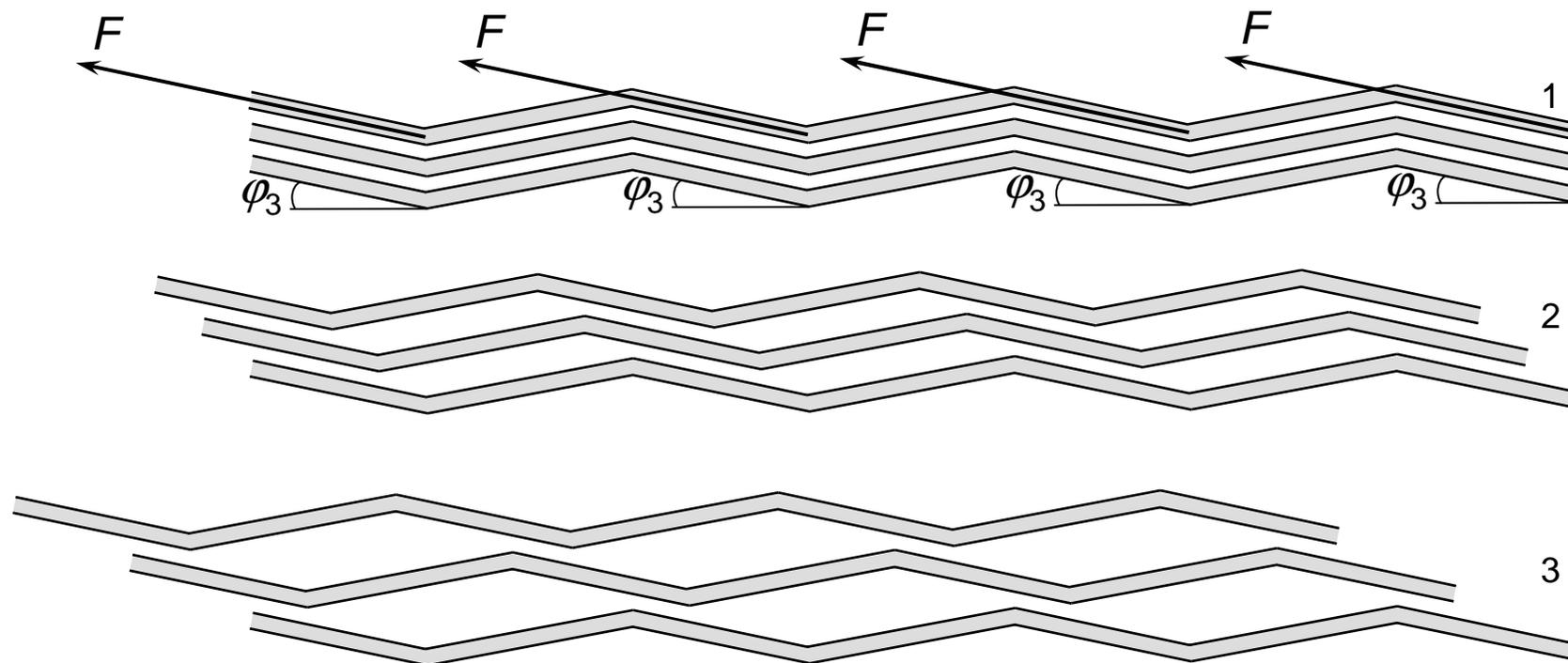
φ_3 – угол приложения силы ($\approx 12^\circ$)

$AB = w + W$

$\Delta l = A''B = w_{xy} + W_{xy}$

Пропорции между некоторыми элементами на рисунке не соблюдены

Упрощённая схема образования многих слоёв каналов коробчатой наноструктуры



Два слоя каналов образованы из трёх расщеплённых в складках слоёв графена путём относительного сдвига (скольжения) этих слоёв вдоль плоскости малой грани

Возможные области применения

- Чувствительные элементы датчиков
- Каталитические ячейки
- Наноканалы (молекулярные сита) для микроканальных жидкостных устройств
- Сорбенты для хранения водорода
- Теплоотводящие поверхности