

Технология получения многослойного и малослойного графена

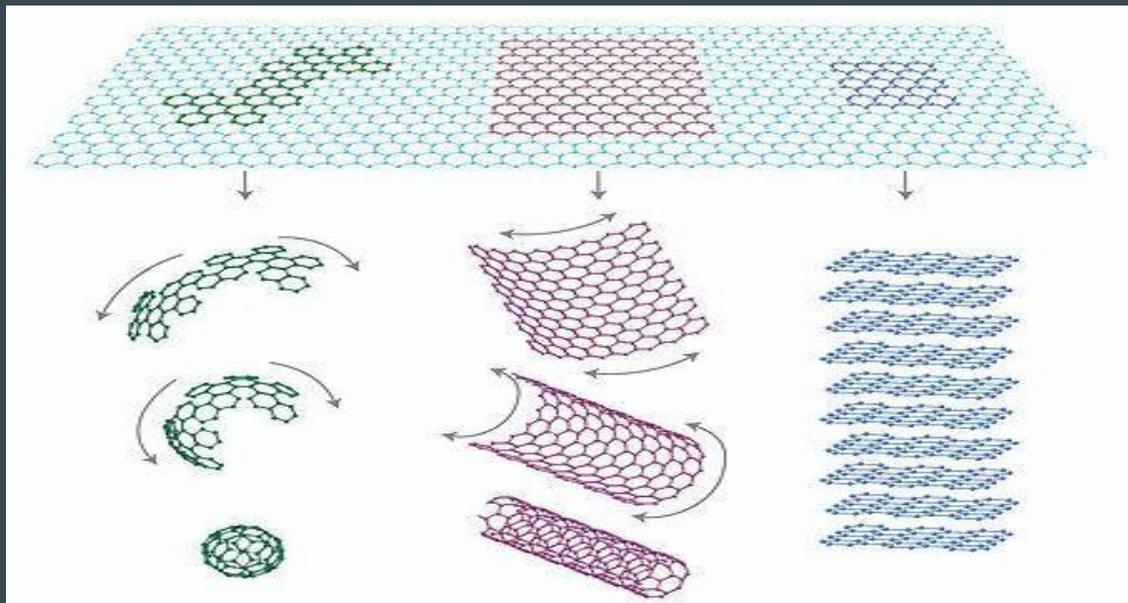
...

Введение

Углерод обладает наибольшим разнообразием аллотропных модификаций: алмаз, графит, фуллерен, углеродные нанотрубки, графен и др. Графен – один слой графита, состоящий из шестичленных колец, в узлах которых находятся атомы углерода, соединенные sp^2 гибридованными связями в гексагональную двумерную (2D) решетку [1]. Интерес в изучении и применении представляет не только однослойный графен, но и двуслойный, а также многослойный (до 10 слоев).

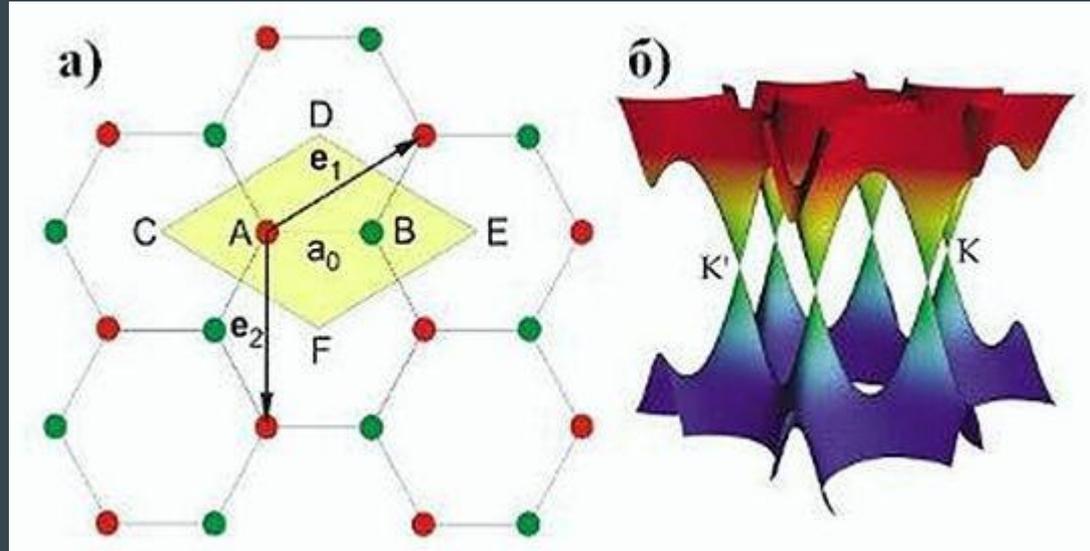
Строение графена

Углерод — один из самых интересных элементов периодической таблицы Менделеева. Он имеет множество аллотропов. Некоторые из них, например, алмаз и графит, известны давно, в то время как другие открыты относительно недавно (10-15 лет назад) — фуллерены [1] и нанотрубки [2].



Атомная решётка и электронная структура графена

Кристаллическая решётка графена (рис. 2а) представляет собой плоскость, состоящую из шестиугольных ячеек, то есть является двумерной гексагональной кристаллической решёткой [8, 9]. В элементарной ячейке кристалла находятся два атома, обозначенные как А и В. Тот факт, что носители заряда в графене описаны дираковским спектром, а не обычным уравнением Шредингера для нерелятивистских квантовых частиц, может быть интерпретирован как следствие кристаллической структуры графена.



Методы получения графена

Теоретические исследования графена начались задолго до получения реальных образцов. В 30-40-х гг. прошлого века проведенные расчёты показали, что свободная двумерная плёнка должна быть термодинамически нестабильной. По этой причине монослойные структуры получали лишь на поверхности объёмных материалов.

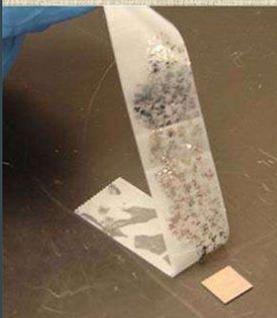
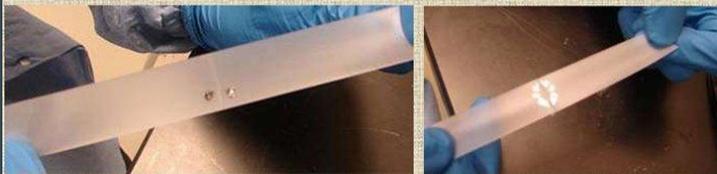
Таким образом графен делят на несколько категорий по способу его получения:

1. отщеплённый графен [7, 17, 18];
2. химический графен [19-21];
3. эпитаксиальный графен на металлах [22-35] или эпитаксиальный графен на SiC [36-39];
4. CVD графен (на никеле [40-45] или на меди [46-49]).

Первый метод.

полученит образцов графена методом микромеханического отщепления.

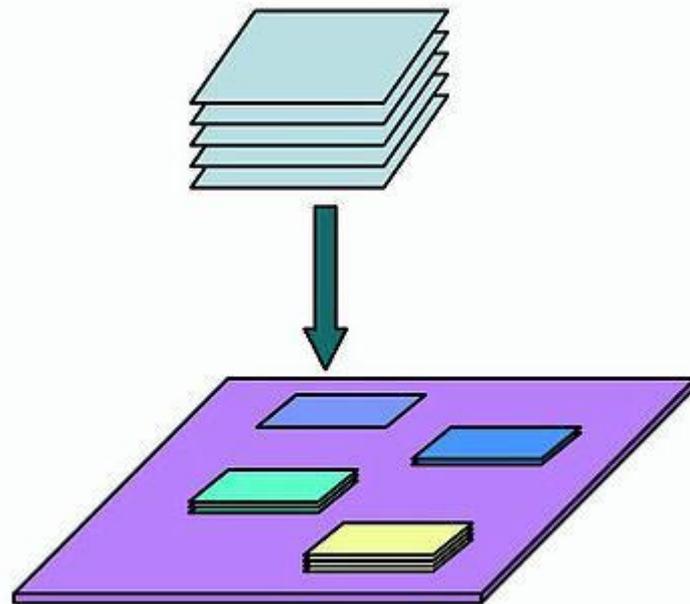
Получение графена расщеплением



Изображение в
оптическом микроскопе

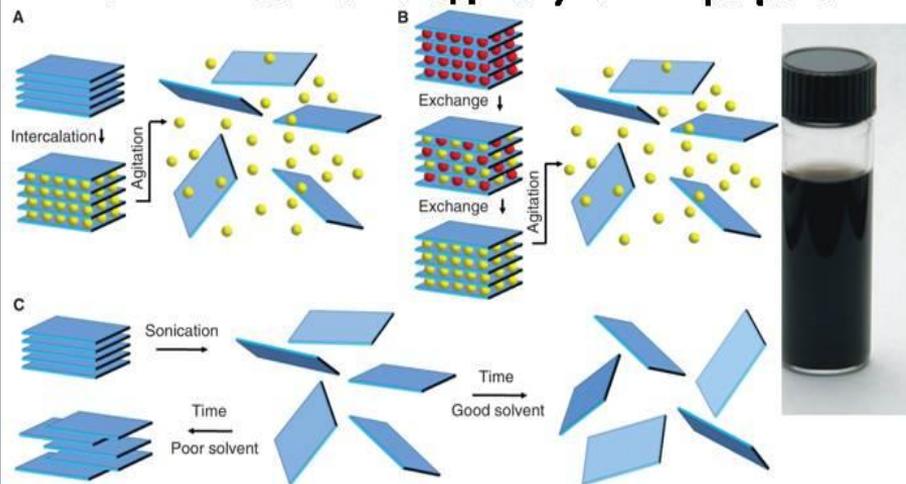
Скотч отрывает графитные слои, оставляя абсолютно гладкую поверхность. Ленту выбрасывают вместе с тем, что к ней прилипло. «За то, что мы ее подобрали и исследовали, нас обозвали garbage scientists — мусорными учеными».

Кусочки графена получают при механическом воздействии на графит. Сначала плоские куски графита помещают между липкими лентами (скотч) и отщепляют раз за разом создавая достаточно тонкие слои (среди многих плёнок могут попадаться однослойные и двухслойные, которые и представляют интерес). После отшелушивания скотч с тонкими плёнками графита прижимают к подложке окисленного кремния. При этом трудно получить плёнку определённого размера и формы в фиксированных частях подложки (горизонтальные размеры плёнок составляют обычно около 10 мкм).

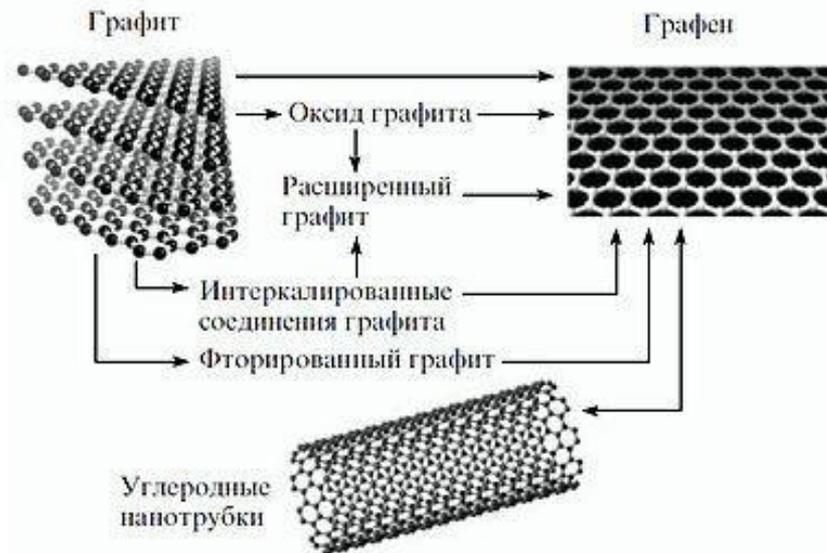


Второй метод - химический

2. Химические метод получения графена



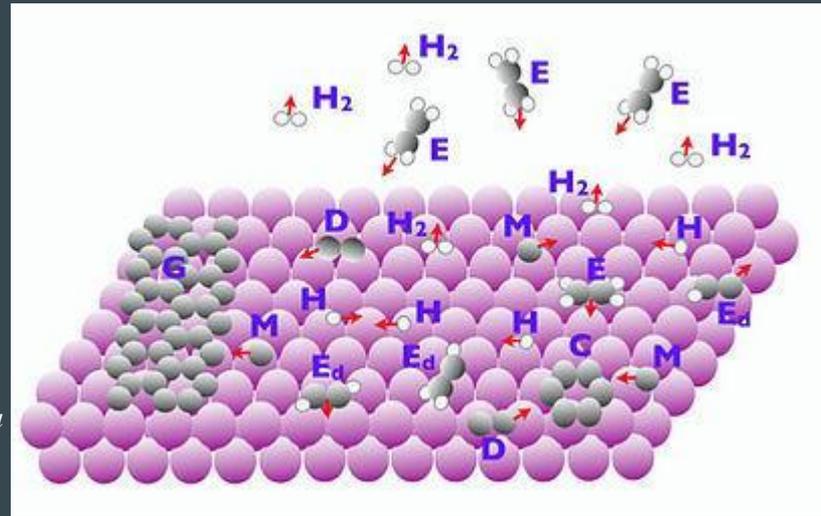
Разделение графита (порошок) на тонкие слои (цель - 1 – 3 монослоя) химическими методами. Интеркаляция и/или обработка ультразвуком для разделения на монослои - один из необходимых этапов. Результат - суспензия (или дисперсия) графена. Проблема - высокая концентрация более толстых элементов



Третий метод - эпитаксиальный.

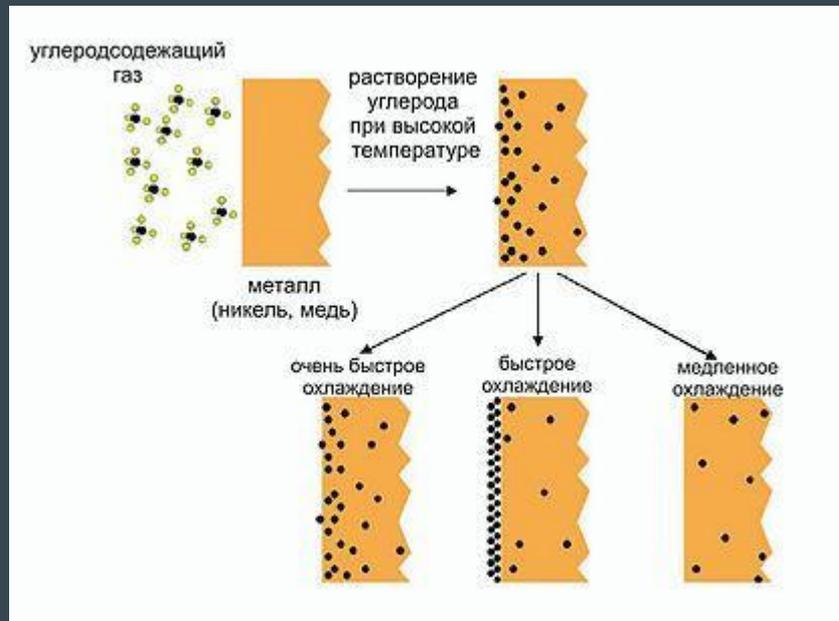
Схематическое изображение основных процессов, происходящих при эпитаксиальном росте графена из углеводородных молекул E.

Они оседают на поверхности, подвергаются разложению через ряд реакций дегидрирования, приводящих к различным видам C_xH_y , показанными как E_d и H-атомов. Новые виды диффундируют через поверхность. Меньшие формы углерода M и D не диффундируют, а слипаются в более крупные кластеры атомов C. Атомы H исходной молекулы мигрируют с поверхности и формируют молекулу водорода, которая испаряется с поверхности. И, наконец, некоторые из таких кформ, как M и D, или даже их больших кластеров C, может присоединятьк острову G на ее краю

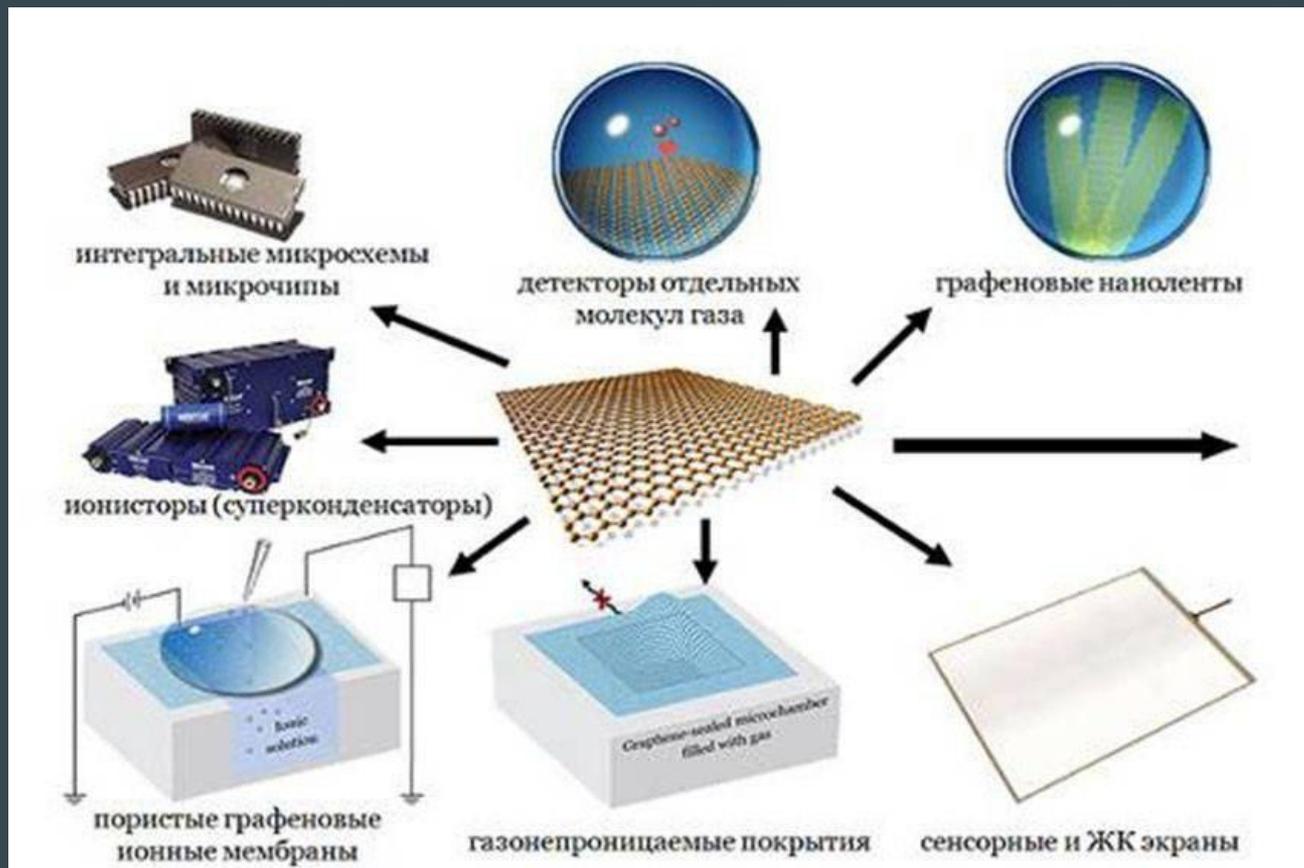


Четвёртый метод - химическое газофазное осаждение

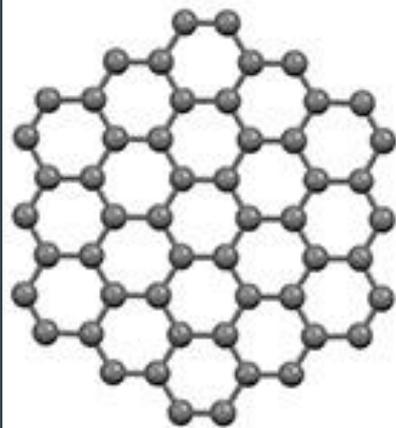
Схема формирования графеновой плёнки на поверхности никеля или меди с помощью метода химического газофазного осаждения



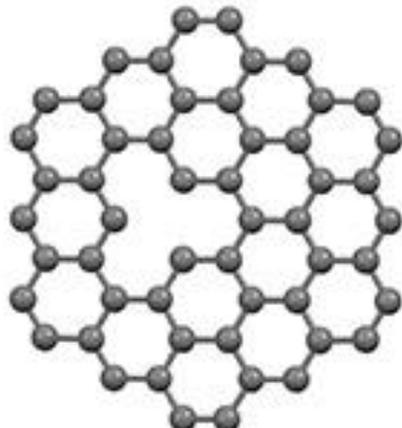
Возможности применения графеновых структур



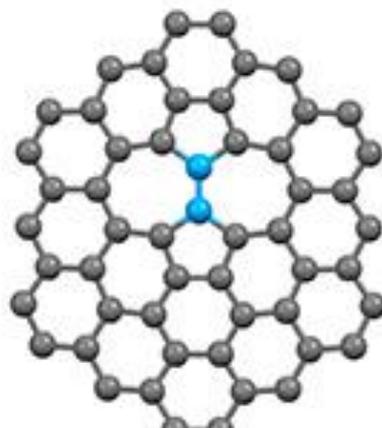
Дефекты



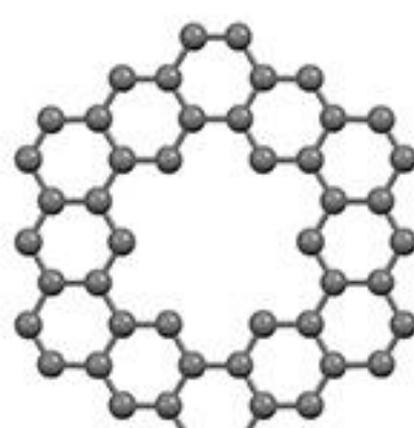
исходная «идеальная»
структура



точечный дефект
«вакансия»

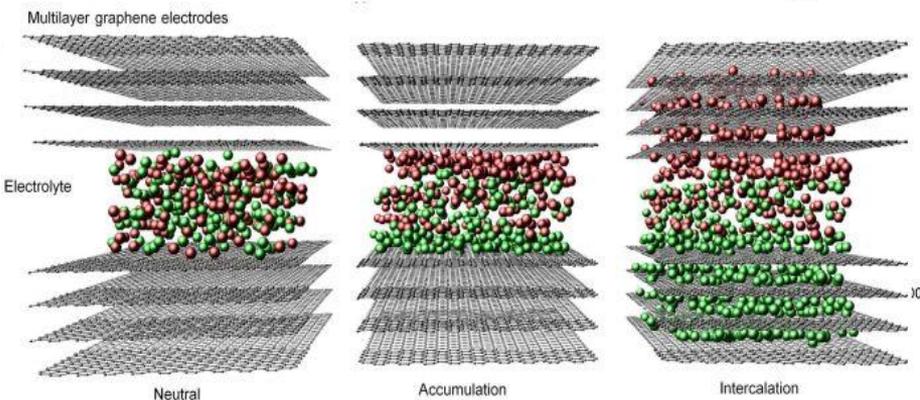
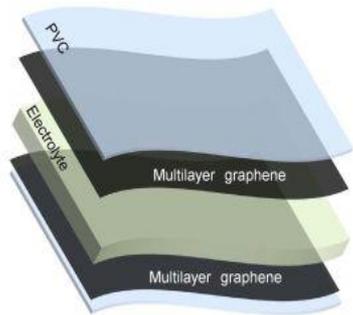


топологический дефект
Стоуна-Уэльса

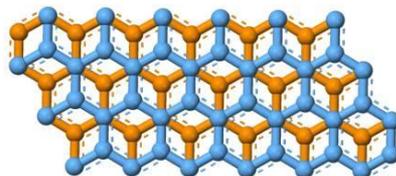


«нанопора»

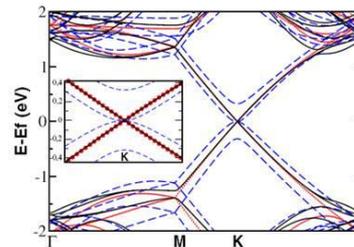
Многослойный графен



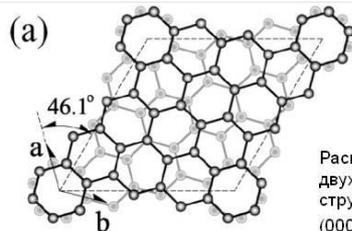
Многослойный графен



Расположение атомов в двухслойном графене



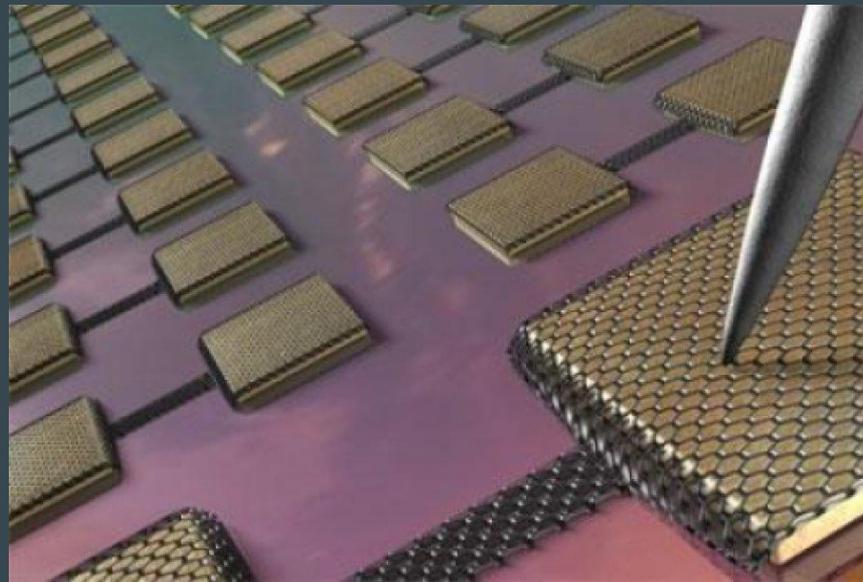
Расчет энергии в однослойном (точки), двухслойном (пунктир) и «сложенном» графене (линия) из PRL, 100, 125504(2008)



Расположение атомов в двух слоях многослойной структуры, выращенной на (000-1)SiC (C-грань)

Области применения многослойного графена

**Графен в электронике:
сегодня и завтра**



Примеры применения

Высокочастотные транзисторы.

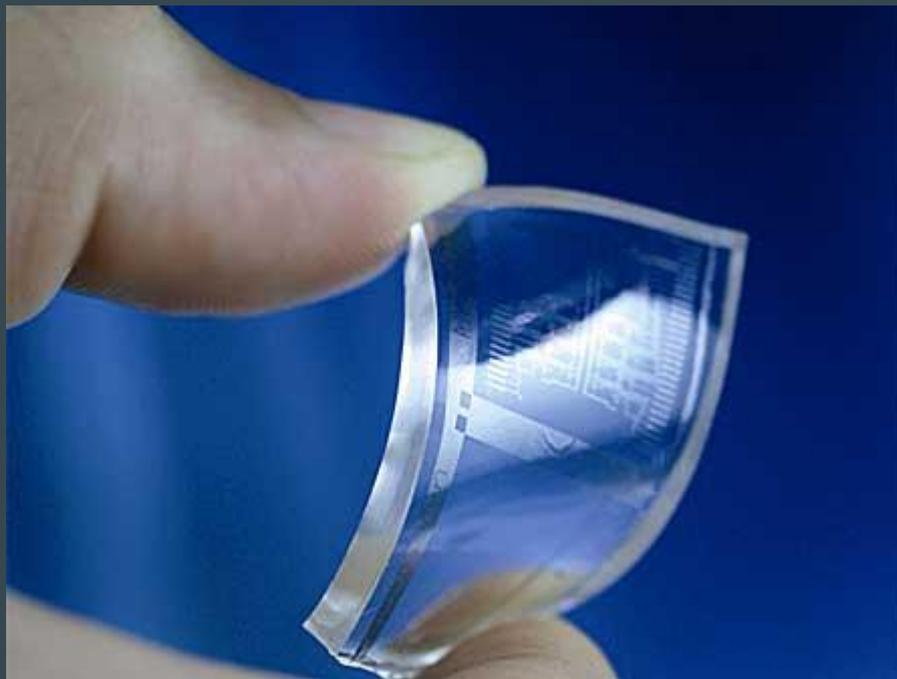
Электроды для суперконденсаторов.

Недорогие дисплеи для портативных устройств.

Аккумуляторы для автомобилей на водородном топливе.

Охлаждение электронных схем.

Элементы с малым удельным весом и высокой прочностью.

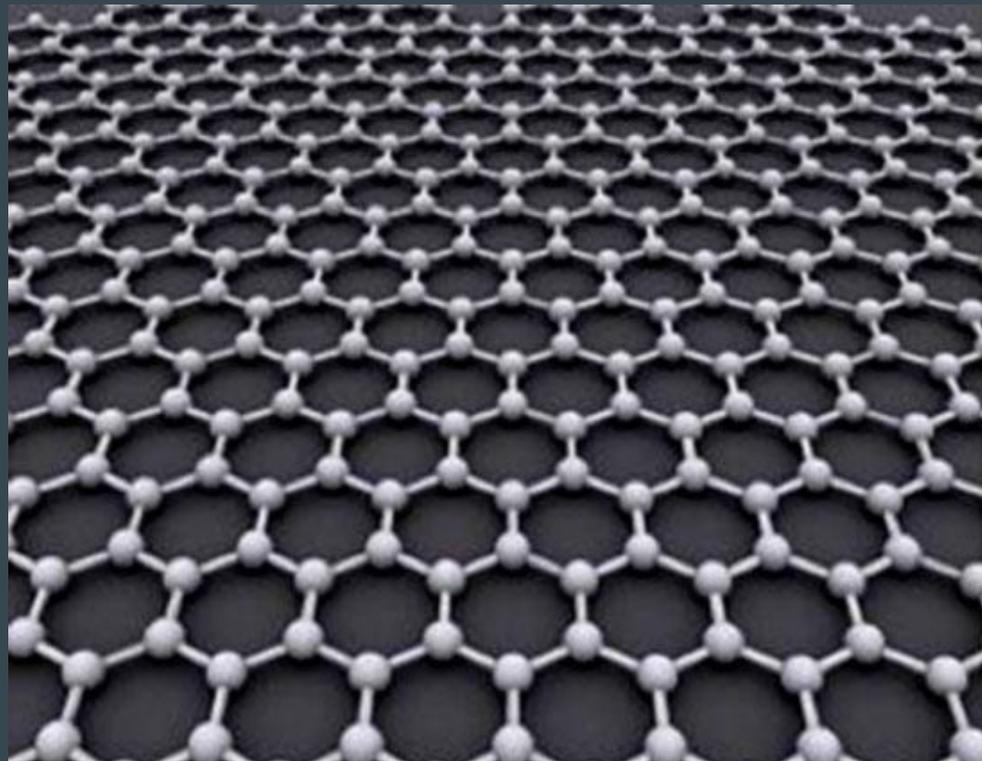


Вместо заключения

Нет сомнений, что когда эти и другие разработки будут доведены до конца, наше представление об электронике коренным образом изменится. Как? Например, так, как показано в следующем видеоролике:

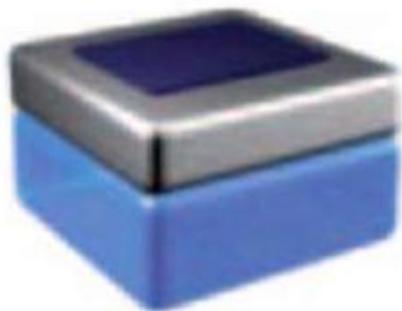
https://www.youtube.com/watch?time_continue=60&v=-YbS-YyvCl4

Малослойные графены

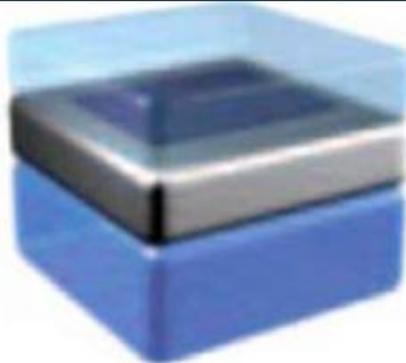


Получение и применение

а



б



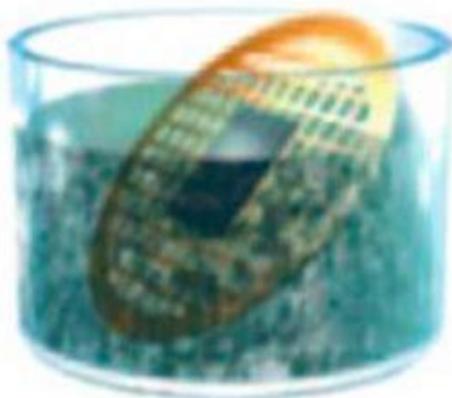
в



г



д



е

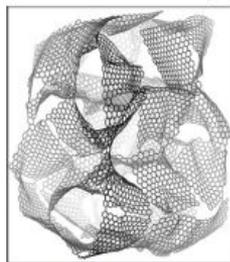


Обработка графена

a

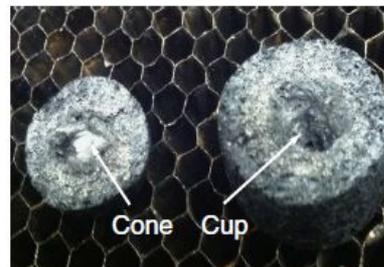


Solvothermal
reaction

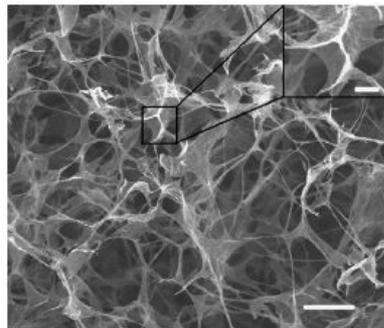


Graphene sponge

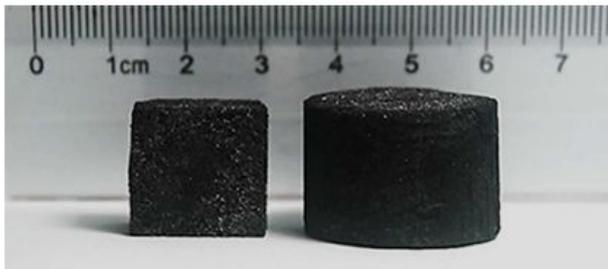
c



d



b



Графен (Таунит ГМ)

