

роде, – это и облака, и хлопья снега, и горы, и вспышка молнии, и наконец, цветная капуста. Фрактал как природный объект – это вечное непрерывное движение, новое становление и развитие.

#### **Фрактальная геометрия**

Фрактальная геометрия стала востребованной во многих научно-исследовательских программах: это отдельные процессы гидродинамики, физико-химические процессы композитных и полимерных материалов, теория роста городов и т.д. При этом, физика, химия, геология, рост кристаллов, распределение плотности населения, рассеяние энергии в турбулентности, распределение сбоев в компьютерных сетях, распределение примесей в полупроводниках, азартные игры предстают как мультифракталы. «Мультифракталы «фрактальной геометрии природы» одержали верх над классической «гладкой» геометрией в битве за владычество в естественных науках».

Фракталы находят применение в децентрализованных компьютерных сетях и «фрактальных антеннах». Весьма интересны и перспективны для моделирования различных «случайных» процессов, так называемые «броуновские фракталы». В случае нанотехнологий фракталы тоже играют важную роль, поскольку из-за своей иерархической самоорганизации многие наносистемы обладают дробной размерностью, то есть являются по своей геометрической, физико-химической природе фракталами. Например, ярким примером химических фрактальных систем являются молекулы «дендримеров». < Дендример или арборол (англ. dendrimer) — макромолекула с симметричной древообразной с регулярными ветвлениями структурой.>

#### **Применение фракталов в механике и физике**

В механике и физике фракталы используются благодаря уникальному свойству повторять очертания многих объектов природы. Фракталы позволяют приближать деревья, горные поверхности и трещины с более высокой точностью, чем приближения наборами отрезков или многоугольников (при том же объеме хранимых данных). Фрактальные модели, как и природные объекты, обладают "шероховатостью", и свойство это сохраняется при сколь угодно большом увеличении модели. Наличие на фракталах равномерной меры, позволяет применять интегрирование, теорию потенциала, использовать их вместо стандартных объектов в уже исследованных уравнениях.

#### **Фрактальные модели**

Фрактальные модели применяют в медицине для ранней диагностики раковых опухолей; в геологии и почвоведении; в материаловедении при изучении процессов разрушения изделий; в ядерной физике и астрономии для изучения элементарных частиц, распределения галактик во Вселенной, процессов на Солнце; в информатике для сжатия данных и улучшения трафика в сети Интернет; для анализа колебаний рыночных цен в экономике, сердечного ритма в кардиологии, погоды в метеорологии; в химии, искусствоведении... — перечень можно продолжать бесконечно.

Литература.

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 656с.
2. Божокин С.В., Паршин Д.Д. Фракталы и мультифракталы – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001, 128с

### **ГРАФЕН: СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ХИМИИ**

*Д.Н. Дятов, студент группы 17Г20,*

*научный руководитель: Деменкова Л.Г.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

В 2004 г. российскими физиками А. Геймом и К.Новосёловым был открыт графен – самый тонкий в мире углеродный материал, который вызывает большой интерес среди учёных. На сайте Graphene Times ежедневно появляется от 12 до 17 рефератов статей по графену [3], опубликованных в ведущих мировых журналах: Nano Letters, ACS Nano, Applied Physics Letters; Carbon и др. Графен сочетает в себе уникальные свойства: высокие механическую прочность, электро- и теплопроводность, непроницаемость для газов, прозрачность и многие другие, которые делают его привлекательным материалом для многих приложений. Измерения, сделанные американскими учеными из Колумбийского университета, говорят о том, что графен – самое прочное из известных на сегодняшний

день веществ [2]. Правда, полученные данные относятся к «идеальному» графену, в котором очень мало примесей и кристаллическая структура однородна. Кристаллическая структура графена представляет собой гексагональную двумерную кристаллическую решётку. Другими словами, графен – слой атомов углерода, соединённых посредством  $sp^2$ -связей. Графен является аллотропным видоизменением углерода. Его можно представить как одну плоскость графита, отделённую от объёмного кристалла. Идеальный графен состоит исключительно из шестиугольных ячеек. Присутствие пяти- и семиугольных ячеек будет приводить к различного рода дефектам. Наличие пятиугольных ячеек приводит к сворачиванию атомной плоскости в конус. Структура с 12 такими дефектами одновременно известна под названием фуллерен. Присутствие семиугольных ячеек приводит к образованию седловидных искривлений атомной плоскости. Комбинация этих дефектов и нормальных ячеек может приводить к образованию различных форм поверхности.

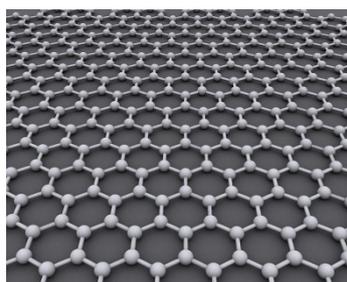


Рис. 1. Структура графена [1]

Свойства графена (и, следовательно, функционал приложений, в которых он может быть использован) очень сильно зависят от качества материала, подложки, типа дефектов и т.д., которые в свою очередь сильно зависят от метода производства (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение свойств графена, полученных разными методами

Метод	Размер кристаллита, мкм	Размер образца, мм	Подвижность носителей заряда при 293 К, $см^2 \cdot В^{-1} \cdot с^{-1}$	Применение
Механическое отслаивание	>1000	>1	$>2 \times 10^5$	Исследования
Химическое отслаивание	$\leq 0,1$	-	100	Покрyтия, краски/чернила, композитные материалы, прозрачные проводящие слои, конденсаторы, биоприложения
CVD	1000	~1000	10000	Фотоника, наноэлектроника, прозрачные проводящие слои, сенсоры, биоприложения
SiC	50	100	10000	Высокочастотные транзисторы и др. электронные устройства

В настоящее время существует несколько способов получения графена. Основной способ получения [2] – механическое отщепление слоёв графита не предполагает использования масштабного производства. Сначала плоские куски графита помещают между липкими лентами (скотч) и расщепляют раз за разом, создавая достаточно тонкие. После отшелушивания скотч с тонкими плёнками графита прижимают к подложке. Графен также можно приготовить из графита, используя химические методы. В одном из них графит подвергается действию смеси серной и соляной кислот. Графит окисляется, и на краях образца появляются карбоксильные группы. Их превращают в хлориды при помощи тионилхлорида. Затем под действием октадециламина в растворах тетрагидрофурана, тетра-хлорметана и дихлорэтана они переходят в графеновые слои [3].

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD) является основным методом для выращивания пленок графена большой площади [2]. Его основные стадии заключаются в осаждении графенового слоя на медную подложку и его последующем переносе на диэлектрическую подложку. Однако данный процесс является очень дорогостоящим из-за большого потребления энергии и удаления медного слоя.

Карбид кремния является одним из самых распространенных материалов, используемых для «силовой электроники». Первые работы по получению графена при термическом разложении поверхности подложки SiC описывали образования поликристаллических слоев графена, ориентированных случайным образом, сейчас же имеются работы, в которых описаны удачные процессы контроля над количеством и ориентацией образующихся слоев графена [4]. Двумя основными недостатками этого метода являются высокая стоимость SiC-пластин и использование высоких температур (выше 1000 °C), поэтому использование графена на SiC, вероятно, будет ограниченным.

Существует также ряд других методов получения графена, однако, маловероятно, что они станут коммерчески жизнеспособными в течение следующего десятилетия. Это методы: синтез полифениленов с последующим циклодегидрированием [1], радиочастотное плазмохимическое осаждение из газовой фазы (англ. PECVD), рост при высоком давлении и температуре (англ. HPHT) [3]. Из этих методов только последний можно использовать для получения пленок большой площади.

Российскими химиками [2] был разработан способ получения графеновых полос: многослойные нанотрубки диаметром 40–80 нм в течение часа подвергали действию раствора  $\text{KMnO}_4$  в концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при комнатной температуре. При этом связь C–C соседних углеродных циклов разрывалась под действием сильных окислителей, и возникает разрыв в структуре нанотрубки. Затем трубка начинает «расходиться» в противоположных направлениях (ученые назвали это «расстигиванием молнии»), и получается полоска.

Потенциальные области применения графена в химии включают внедрение в пластмассу, с целью придания ей электропроводности; более крепкий, прочный и легкий пластик; герметичные пластиковые контейнеры, которые позволят неделями хранить в нем еду, и она будет оставаться свежей [1]; искусственные мембраны для разделения двух жидкостей в резервуаре; композитные материалы, краски и покрытия; эффективные катализаторы.

Одной из важных областей использования графена в химии является его применение в качестве очень чувствительного сенсора для обнаружения отдельных опасных молекул химических веществ, присоединенных к поверхности пленки. В работе [4] исследовались такие вещества, как  $\text{NH}_3$ , CO,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ . Сенсор размером  $1 \text{ мкм}^2$  использовался для детектирования присоединения отдельных молекул  $\text{NO}_2$  к графену. Принцип действия этого сенсора заключается в том, что разные молекулы могут выступать как доноры и акцепторы, что в свою очередь ведёт к изменению сопротивления графена.

Одним из главных преимуществ графена считалась его химическая устойчивость. Однако проведенные исследования показали, что такой материал многократно использовать нельзя. Французские ученые пришли к выводу, что облучение ультрафиолетом приводит к фрагментации графена, то есть расщеплению материала на фрагменты, которые по своему строению похожи на полиароматические углеводы. Если облучение ультрафиолетом было длительным, то наблюдалось даже полное разрушение материала до воды и углекислого газа [3]. Таким образом, это исследование ставит под сомнение возможности применения графена сразу в нескольких областях.

Кроме того, создатели графена также отмечают множество проблем, связанных с его применением. По словам К. Новоселова: «Весь потенциал, обеспеченный уникальными свойствами графена, может быть использован только в тех приложениях, которые будут разработаны специально с учетом свойств этого материала». То есть пытаться заменить им полупроводниковые материалы в существующих приложениях, по мнению авторов, бессмысленно, – необходимо разрабатывать «future devices» [5].

#### Литература.

1. Ерин Ю.А. Графен оказался прочнее всех [Электронный ресурс]. – <http://elementy.ru/news/430782>
2. Лалаянц И.Э. От графена к графану [Электронный ресурс]. – [http://him.1september.ru/view\\_article.php?id=200901609](http://him.1september.ru/view_article.php?id=200901609)
3. Поверенная М.П. Графеновый бум: итоги [Электронный ресурс]. – [http://www.nanometer.ru/2012/10/26/13512365078102\\_298275.html](http://www.nanometer.ru/2012/10/26/13512365078102_298275.html)
4. Ткачев С.В. Восстановленный оксид графена: получение, строение, свойства [Электронный ресурс]: авт. дисс... к.х.н. – <http://dissers.ru/1himiya/vosstanovlenniy-oksid-grafena-poluchenie-stroenie-svoystva-02-00-01-neorganicheskaya-himiya-avtoreferat-dissertacii-na-soiskanie.php>
5. K. S. Novoselov, V. I. Fal'ko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab & K. Kim: A roadmap for graphene. Nature 490, 192-200 (11 October 2012). лся прочнее всех