

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КАРКАСНЫХ СТРУКТУР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Митрахович А. А.

Позняк А. А. — канд. физ.-мат. наук, доцент

Многие из перспективных направлений в материаловедении, нанoeлектронике, прикладной химии связываются в последнее время с фуллеренами, нанотрубками и другими им подобными структурами, которые можно назвать общим термином — углеродные каркасные структуры (УКС). В докладе описано применение УКС — больших молекул, состоящих исключительно из атомов углерода, и их производных.

К УКС можно отнести следующие аллотропные модификации углерода:

- углеродные нанотрубки (УНТ), англ. — *Carbon Nanotubes (CNT)*;
- фуллерены;
- графен.

Поражает разнообразие применений, которые уже придуманы для УНТ. Первое, что напрашивается само собой, это применение нанотрубок в качестве очень прочных микроскопических стержней и нитей. Как показывают результаты экспериментов, модуль Юнга однослойной УНТ достигает 1-5 ТПа, что намного больше, чем у стали. Правда, максимальная длина УНТ в настоящее время составляет десятки и сотни микрометров — что очень велико по атомным масштабам, но слишком мало для повседневного использования. Но максимальная длина УНТ, получаемых в лаборатории, постепенно увеличивается и сейчас ученые уже подошли к миллиметровому рубежу. Поэтому есть основания надеяться, что в скором будущем будут получены УНТ длиной в сантиметр, а может быть, даже метр. Безусловно, это сильно повлияет на будущие технологии, ведь трос толщиной с человеческий волос, способный выдерживать груз в сотни килограммов, найдет множество применений. Необычные электрические свойства УНТ сделают их одним из основных материалов нанoeлектроники. Сейчас уже созданы опытные образцы полевых транзисторов на основе одной УНТ: прикладывая управляющее напряжение в несколько вольт, ученые научились изменять проводимость однослойных нанотрубок на пять порядков [1].

Также перспективно применение УНТ для изготовления устройств отображения информации. Например, созданы и опробованы прототипы тонких плоских дисплеев работающих на матрице из УНТ: под действием напряжения, прикладываемого к одному из концов нанотрубки, с другого конца начинают испускаться электроны, которые попадают на фосфоресцирующий экран и вызывают свечение пикселя [1].



Рис. 1 – Голограмма, созданная с применением УНТ

Таким образом, крошечные размеры пикселей заставляют свет рассеиваться под большими углами, увеличивая поле зрения конечного изображения. Кроме того, чем меньше размер пикселя, тем выше разрешение голограммы [2].

Была предпринята попытка сфотографировать УНТ с помощью фотоаппарата со вспышкой. Это привело к тому, что блок УНТ при свете фотовспышки издал громкий хлопок и взорвался. Ученые утверждают, что обнаруженный феномен «взрывоопасности» УНТ может найти этому материалу новые применения, вплоть до использования в качестве детонаторов для подрыва боезарядов, а также поставит под сомнение или затруднит использование в отдельных областях [1].

Однако промышленное применение УНТ пока что ограничено рядом технологических проблем. Прежде всего, ещё не научились в больших количествах «выращивать» дешёвые УНТ. Во-вторых, сейчас не умеют получать сколь угодно длинные нанотрубки, которые имели бы однородные физические свойства (например, без структурных дефектов). Также в процессе роста нанотрубок сложно контролировать хиральность нанотрубок. Сочетание этих причин обуславливает ограниченное применение УНТ в промышленности.

Правда, в одной из областей применения наблюдается заметное продвижение вперед: даже небольшие добавки УНТ приводят к значительным улучшениям свойств материалов, применяемых для создания как антикоррозионных, так и огнезащитных покрытий. Так норвежская компания *Advanced Marine Coatings*, которая специализируется на разработке покрытий для морских судов, предоставило новое покрытие, в составе которого впервые были использованы УНТ. В результате повысилось сопротивление абразивному изнашиванию, а также уменьшилось гидравлическое сопротивление при движении судна, что привело к уменьшению расхода топлива. Это новое покрытие имеет высокую водонепроницаемость и особенно подходит для защиты корпуса ниже ватерлинии [3].

Еще одно интересное практическое применение УНТ — огнезащитные покрытия. УНТ могут быть использованы вместо обычных галогенсодержащих антипиренов (причем в меньших количествах) для повышения термостойкости полимеров и создания тепловых барьерных слоев на их основе. *THERMOCYL™* (марка материалов на основе кремнийорганических смол с добавками многостенных УНТ компании *Nanocyl*), по данным разработчиков, является отличным материалом для защиты от пламени и обладает высокой адгезией к стеклу, металлам, дереву и др. Конечно, успешное внедрение некоторых материалов не означает прекращение научных исследований. Так, например, китайские ученые недавно продемонстрировали, что декорирование (модифицирование) УНТ фуллеренами способствует дальнейшему снижению воспламеняемости композита полипропилен/нанотрубки. Авторы разработали новую трехстадийную методику получения C_{60} -*d*-CNTs (C_{60} decorated CNTs). Известно, что внедрение 1 масс.% обычных УНТ заметно (на 66%) снижает максимум скорости тепловыделения. Добавки C_{60} -*d*-CNTs в том же количестве не только дополнительно уменьшают максимум скорости тепловыделения, но и замедляют процесс горения, то есть, обеспечивают лучшую огнезащиту для полипропилена, чем исходные УНТ. В контрольных экспериментах, когда в полипропилен вводили механическую смесь УНТ и фуллеренов, максимум скорости тепловыделения был выше. Таким образом, эффективность не обусловлена простой комбинацией УНТ и фуллеренов [3].

Физики из университета Корнелла, США, сделали электромеханический резонатор нанометровых размеров, которые способны детектировать малые значения прикладываемой на него силы. В качестве «рабочего органа» резонатора ученые использовали УНТ, расположенную между двумя золотыми электродами [1]. Исследователи сделали детектор следующим образом: между двумя электродами, расположенными на желобке из оксида кремния, протянули нанотрубку, жестко закрепленную на концах — получился транзистор. Электроды были стоком и истоком, а подложка с канавкой из оксида кремния — затвором. Затем, изменяя напряжение на электродах, физики добились оптимального натяжения УНТ (за счёт электростатического притяжения к затвору), а также заставили её вибрировать. Теперь, измеряя изменение электрической ёмкости между УНТ и затвором можно было установить, в какой мере УНТ отклоняется от положения покоя, или измерить частоту вибрации УНТ. Ученые смогли измерить резонансные частоты нанотрубки в интервале от 3 до 200 МГц, а также смещение УНТ от положения равновесия всего на 0,5 нм. На сегодняшний день это лучшие результаты измерения массы, достигнутые при комнатной температуре. Так как частота вибрации УНТ представляет собой функцию её массы, то добавление к её массе посторонней изменит частоту колебаний. Теперь с помощью нового детектора можно будет «взвешивать» отдельные атомы. Нанoeлектромеханические системы такого типа могут быть полезны при конструировании различных ультрачувствительных масс-детекторов и детекторов силы. В таких устройствах «рабочий орган» сенсора изменяет свое положение в зависимости от воздействия на него внешней силы. УНТ — идеальные кандидаты для «рабочего органа» такого устройства, так как у них большая упругость. Это позволяет УНТ колебаться в широком диапазоне частот. Более того, нанотрубка может работать в качестве транзистора, что позволило исследователям определить частоту колебаний нанотрубки и её смещения относительно положения покоя. Все вышесказанное характеризует однослойную УНТ как универсальный детектор массы и силы. В детекторе исследователи использовали УНТ диаметром от одного до четырех нанометров.

Группа химиков из Калифорнийского университета создала нанощестеренку (рис. 2), которая является одной из частей наноробота. Схема детали представляет собой телескопическую многостенную УНТ, состоящую из двух элементов: оболочки, имеющей цилиндрическую стенку с замкнутым концом, и внутренней полости. Также исследовательская группа из университета Иллинойс в Чикаго спроектировали пропеллер нанометрового масштаба (рис. 3) и проанализировали, как он будет работать. В своем проекте физики составили крошечный винт из УНТ (ступица) и гидрофобных ароматических молекул (лопасти).

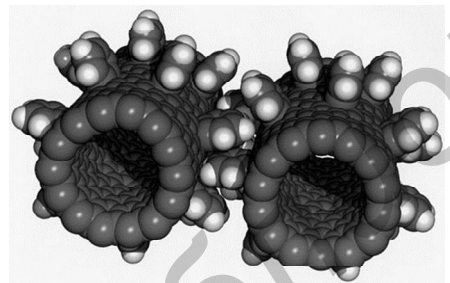


Рис. 2 – Нанощестерня [4]

Ученые смоделировали на компьютере перекачку таким насосом различных жидкостей, в частности — воды и масла [5].

В заключение хотелось бы заметить, что, несмотря на все сложности работы с УНТ, исследования в этой области занимают одно из лидирующих мест в мире.

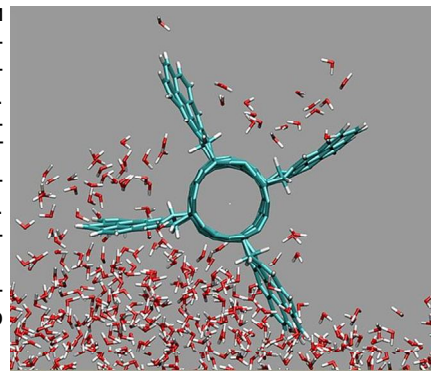


Рис. 3 – Молекулярный пропеллер [4]

Список использованных источников:

1. Углеродные нанотрубки, графен и т. д. // Fornit. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.scorcher.ru/art/science/nano/nano.php>. — Дата доступа: 13.04.2013.
2. Нанотрубки помогли создать самые маленькие в мире голограммные пиксели // NAUKOVED.RU. — 02.10.2012. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://naukoved.ru/news/view/257/>. — Дата доступа: 13.04.2013.
3. Алексеева, О. Углеродные нанотрубки защищают и от воды, и от огня / О. Алексеева // Перст™. — 30.12.2009. — Т. 16, Вып. 24. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://perst.iissph.kiae.ru/Inform/perst/9_24/n.asp?file=perst.htm&label=L_9_24_12. — Дата доступа: 13.04.2013.
4. Наноробот // Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Наноробот>. — Дата доступа: 14.04.2013.
5. Нанопропеллер сможет качать лекарства с молекулярной точностью // MEMBRANA. — 20.07.2007. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/11739>. — Дата доступа: 14.04.2013.