

УДК 539.199

© З. З. Латыпов, Л. Н. Галль

## ФУЛЛЕРЕНЫ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОКЛАСТЕРЫ

В работе приводится краткий обзор состояния исследований фуллеренов и углеродных нанотрубок — веществ, перспективных в науке и технике. В последние годы достигнут значительный прогресс в технологии синтеза углеродных нанокластеров и нанокомпозитов, применение которых открывает новые возможности в технике, медицине и промышленности.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования фуллеренов и углеродных наночастиц (нанотрубок, наноконусов и т. д.) являются одной из наиболее динамично развивающихся областей современной химической физики. Интерес к исследованиям этих объектов обусловлен двумя главными причинами: а) фуллерены и углеродные наночастицы как новый объект химической физики характеризуются необычными свойствами; б) эти частицы представляют значительный интерес как материал, перспективный для использования в научных и прикладных целях.

Выделенные в чистом виде, эти вещества представляют собой кристаллические порошки темного цвета. Наиболее распространенной из молекул, принадлежащих к семейству фуллеренов, является  $C_{60}$ , структура которой соответствует правильному усеченному икосаэдру. Наряду с  $C_{60}$  к классу фуллеренов относятся также молекулы  $C_{70}$ ,  $C_{76}$ ,  $C_{84}$ ,  $C_{88}$ ,  $C_{90}$ ,  $C_{96}$ , ...,  $C_{240}$ , отличающиеся более низкой симметрией. Фуллерены составляют уникальный класс макромолекул (нанокластеров), обладающих замкнутой двумерной структурой. Следующим классом углеродных нанокластеров, представляющим объект интенсивных исследований, являются углеродные одностенные и многостенные нанотрубки. Ниже приведены некоторые характерные размеры этих нанокластеров, дающие представления об этом классе частиц [1]. Диаметр фуллерена  $C_{60}$  составляет  $\sim 0.70$  нм; диаметр одностенных нанотрубок (SWNTs) находится в диапазоне  $1.1 < d < 1.4$  нм; длина нанотрубок — в диапазоне  $2 < L < 5$  мкм; соответствующие величины для многостенных нанотрубок (MWNTs):  $2 < d < 20$  нм и  $100$  нм  $< L < 4$  мкм. Многостенные нанотрубки представляют собой концентрические трубки, где число слоев может меняться в пределах 5–20, а концы трубок могут быть закрытыми и открытыми.

В настоящем кратком обзоре будут перечислены те направления в научных и технологических разработках, связанных с углеродными нанокла-

стерами, на которых в настоящее время сосредоточены усилия специалистов ведущих стран в этих областях науки и технологии (США, Японии, Западной Европы, России). Основное внимание при этом уделяется фуллеренам и нанотрубкам как наиболее перспективным объектам.

### СИНТЕЗ ФУЛЛЕРЕНОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Разработаны различные методы получения углеродных нанокластеров. В настоящее время технология синтеза углеродных нанокластеров направлена на получение этих веществ в больших количествах. Технология синтеза и очистки фуллеренов в макроскопических количествах была разработана в конце девяностых годов двадцатого века. В соответствии с этой технологией фуллерены получали методом, основанным на термическом разложении графита в дуговом разряде. Разряд зажигался между двумя графитовыми электродами в атмосфере буферного газа — гелия — при давлении 100–200 торр в режиме постоянного тока 200–250 А. Полученная сажа промывалась в неполярном растворителе, отфильтровывалась и выпаривалась. Образовавшийся черный порошок (смесь фуллеренов) использовался для последующей экстракции. Разделение фуллеренов осуществлялось с помощью жидкостнохроматографического метода. Образование фуллеренов подтверждалось методом лазерной десорбции и анализом во времяпролетном масс-спектрометре. В 2002 г. в Японии создан метод [2] получения фуллеренов в промышленных масштабах (сотни килограммов в год), использующий сжигание углеводородов для образования фуллереновой сажи. Технология непрерывна и использует дешевый исходный материал — углеводороды, при этом температура пламени в потоке горящего газа поддерживается на уровне  $\sim 1500$  °С. К настоящему времени разработаны методы получения углеродных нанотрубок в массовом количестве [3]. Из существующих методов получения нанотрубок наиболее распро-

страненными являются два метода.

1. Метод дугового разряда в углеводородах и напыление углерода на поверхность подложки в присутствии катализаторов (Ni/Y, LaNi<sub>5</sub>H<sub>x</sub>, ...). В зависимости от используемых углеводородов и катализаторов получают различные нанотрубки (одностенные, многостенные и т. д.).

2. Одностенные нанотрубки получают при лазерном испарении смеси графита и металла. При этом SWNRs получается при конденсации паров углерод/металл при температурах 2000–2300 К. Содержание SWNTs в продукте проверяется просвечивающей электронной микроскопией высокого разрешения и сканирующей электронной микроскопией. Содержание примесей (металл, кислород и т. д.) определяют рентгеновским микроанализом. Другим часто используемым методом получения многостенных нанотрубок является пиролиз метана при наличии катализатора Ni/La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с использованием смесей CH<sub>4</sub>—H<sub>2</sub> или CH<sub>4</sub>—Ar. Трубки растут на поверхности металлического Ni при температурах 600–800 °С.

#### МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОКЛАСТЕРОВ

Стремление к разработке теоретических приближений для описания механизмов синтеза углеродных нанокластеров привело к созданию качественных моделей образования этих нанокластеров, которые в какой-то мере отвечают теоретическим представлениям и экспериментальным наблюдениям [4]. Предложены нижеследующие модели образования фуллеренов.

1. Модель сборки фуллеренов из фрагментов графита. Предполагается, что молекулы фуллеренов собираются из оторвавшихся от графита при абляции плоских листов.

2. Модель "улитки". Углеродный кластер, растущий в плазме при получении фуллерена, имеет форму изогнутого листа. В процессе роста листок сворачивается таким образом, чтобы минимизировать число свободных связей.

3. Сборка из кластеров. Фуллерены собираются из различных кластеров, чья структура совпадает со структурой "фрагментов фуллеренов" (C<sub>2</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>16</sub>, C<sub>18</sub>, ...).

4. Путь фуллерена. Согласно этой модели кластеры, состоящие из 30–40 атомов углерода, растут за счет вставки микрокластеров C<sub>2</sub>.

5. Отжиг углеродных кластеров. Фуллерены образуются за счет слипания микрокластеров.

Нанотрубки образуются при напылении углерода на металлическую подложку в дуговом разряде между графитовыми электродами, а также при каталитическом разложении углеводородов и оксида углерода. Зародыши роста возникают на

поверхности подложки за счет адсорбции определенных частиц. Рассмотрены следующие механизмы роста нанотрубок.

1. Зародышем для роста SWNTs являются фуллерены. Рост SWNTs происходит с закрытым концом.

2. Зародышем для роста MWNTs являются наночастицы. Все стенки MWNTs растут одновременно, при этом углерод на конце нанотрубки во время ее роста находится в вязком состоянии.

#### НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ФУЛЛЕРЕНОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

В последние два десятилетия интенсивно исследуются свойства углеродных нанокластеров, включая их электронные, магнитные, фотоэлектрические, оптические, термические и механические характеристики. Бурно развивается также исследование химии фуллеренов и углеродных наночастиц.

Одной из важных особенностей углеродных нанокластеров, определяющих их поведение в различных средах, является их высокая статическая поляризуемость. Для грубой оценки можно принять, что коэффициент поляризуемости пропорционален числу атомов углерода в кластере [5, 6]. Твердый фуллерен C<sub>60</sub> (фуллерит) — это молекулярный кристалл, связанный силами Ван дер Ваальса. Кристаллы и пленки C<sub>60</sub> обладают полупроводниковыми свойствами, а легирование их атомами щелочных металлов приводит к появлению металлической проводимости. Фуллерены, полимеризованные под высоким давлением, а также фуллериты, подвергшиеся лазерному освещению или воздействию электронных пучков, приобретают магнитные свойства. Одностенные углеродные нанотрубки обнаруживают также уникальные свойства [7]. Характер их проводимости (полупроводниковая или металлическая) зависит от величины их диаметра. Они обладают высокой механической прочностью, высокой упругостью, высокой эффективностью электронной эмиссии в слабых полях.

Фуллерены, а также углеродные нанотрубки в отличие от графита и алмаза являются аллотропными модификациями углерода, которые обладают заметной растворимостью в широком классе органических растворителей.

К настоящему времени синтезировано большое количество разнообразных типов соединений фуллеренов, включающих также димерные и тримерные фуллерены [28], фуллерены с атомами и молекулами внутри них, фуллерены с заменой атомов углерода на атомы азота. В результате этих работ стало многое ясно относительно электронных и пространственных свойств, присущих ис-

ходным углеродным макромолекулам.

Фуллерены обладают большим сродством к электронам, что во многом определяет химию этих макромолекул. Экспериментально получены значения энергии сродства для молекул:  $C_{60}$  (2.7 эВ),  $C_{70}$  (2.72 эВ),  $C_{84}$  (3.0 эВ),  $C_{90}$  (3.4 эВ) [8, 9]. Это свойство фуллеренов позволило синтезировать различные галогенные соединения фуллеренов, как например  $C_{60}F_{...}$ ,  $C_{60}F_{48}$ . Оказалось, что производные фуллеренов также имеют большое сродство к электронам. Так, энергия сродства  $C_{60}F_{48}$  составляет 4.3 эВ [8]. Это подтверждается в исследованиях и других соединений, например  $C_{60}O_n$ , где  $n = 1-4$  [10].

Одной из особенностей химических реакций с участием фуллеренов является образование смеси большого числа изомеров соединений фуллеренов, что усложняет идентификацию продуктов реакции. Для решения такой проблемы иногда приходится прибегать к нескольким физическим методам получения нужной информации (масс-спектрометрия, спектры поглощения в видимом и ультрафиолетовом диапазонах, ЯМР-спектроскопия, ЭСР-спектроскопия и т. д.).

Фуллерены обнаруживают биологическую активность. Так как они не растворимы в полярных растворителях и биологических жидкостях, в химических исследованиях их биологической активности используется три подхода: а) создание растворимых комплексных молекул, включающих фуллерены; б) использование детергентов таких, например, как поливинилпирролидон, фосфолипиды и т. д., и синтез водорастворимых производных фуллеренов; в) приготовление суспензии микрочастиц фуллеренов. Показано, что фуллерены и их производные могут использоваться в фототерапии, в приготовлении различных лекарственных препаратов, обнаруживают антивирусную активность и т. д. [11].

### РАЗДЕЛЕНИЕ ФУЛЛЕРЕНОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Химическая селективная экстракция фуллеренов и их соединений из фуллеренсодержащих саж и многоступенчатое хроматографическое разделение в жидкостных хроматографических колонках остаются пока основными методами разделения фуллеренов [5, 12]. Раствор смеси фуллеренов пропускается под давлением через сорбент, обладающий различными сорбционными свойствами по отношению к различным молекулам фуллеренов. Последующее пропускание чистого растворителя через сорбент приводит к последовательной во времени десорбции молекул фуллеренов.

Другой распространенный метод селекции фуллеренов (а также нанотрубок) основан на яв-

лении кристаллизации в растворах [13]. Выпаривание растворителя из раствора смеси фуллеренов приводит к преимущественной кристаллизации фуллеренов того сорта, концентрация которых максимальна или близка к насыщению. Таким образом получают кристаллы молекул определенного сорта.

Одностенные углеродные нанотрубки, получаемые в больших количествах в электрической дуге с использованием катализатора Ni/Y, содержат большое количество углеродных частиц и металлического материала. Получение SWNTs из этой смеси производится многоступенчатой процедурой обработки, которая заключается в окислении смеси при температурах 200–450 °С в среде воздух—аргон с последующим растворением окислов металлов в растворе соляной кислоты.

Эти методы разделения имеют ряд недостатков. Основными из них являются: низкая разрешающая способность, недостаточная для разделения высших фуллеренов; необходимость использования дорогостоящих химических реагентов; большая длительность процесса разделения. Поэтому разработка альтернативных методов является актуальной проблемой. В работе [14] описан метод разделения фуллеренов  $C_{60}$ ,  $C_{70}$  в большом электромагнитном сепараторе изотопов, в котором ионы  $C_{60}^+$  и  $C_{70}^+$ , полученные в источнике электронным ударом, ускорялись до энергий выше 50 кэВ. Для разделения высших фуллеренов этот метод не эффективен, так как ионизация электронами высших фуллеренов приводит к их сильной фрагментации.

Нами предложен метод [15, 16] пространственного разделения пучков нейтральных молекул фуллеренов и их производных по их электрическим дипольным моментам (постоянным и /или индуцированным) в неоднородных электрических полях. На примере электростатического поля системы заряженных параллельных металлических нитей оценены величины угловой дисперсии такого сепаратора нейтральных молекул. Показана возможность разделения высших фуллеренов и перспективность разработки малогабаритных сепараторов такого типа.

Одностенные углеродные нанотрубки имеют большие перспективы использования в микроэлектронике. Металлическая форма SWNTs может служить как соединительные провода, полупроводниковая форма — как полевые транзисторы типа Шоттки. Однако при синтезе SWNTs образуется смесь двух форм. В работе [17] разработан метод разделения этих форм нанотрубок, основанный на различии их поляризуемостей и явлении диэлектрорефореза. Движение нанотрубок зависит от диэлектрических констант нанотрубок и растворителя. Разница в диэлектрических константах приводит к отрицательному диэлектроре-

резу для полупроводниковой формы и к положительному — для металлической. Пока метод обеспечивает разделение микроколичеств нанотрубок, но имеется перспектива совершенствования и развития метода.

Масс-спектрометрия является одним из наиболее мощных средств разделения, идентификации и определения ряда характеристик молекул фуллеренов. Однако не все масс-спектрометрические методы пригодны для исследования таких сложных молекул, как фуллерены и другие углеродные нанокластеры. Так, масс-спектрометрия, использующая такие способы ионизации, как электронный удар, бомбардировка молекул быстрыми атомами и ионами, ионизация при лазерной десорбции молекул с поверхностей, как правило, получает искаженные масс-спектры, так как названные способы ионизации приводят к сильной фрагментации исследуемых молекул [18, 19].

- Электрораспыление растворов исследуемых веществ (ESI) представляет собой наиболее мягкий способ ионизации крупных молекул, который практически не приводит к фрагментации исходных молекулярных ионов [30]. Но при необходимости получения информации о структуре молекул в источнике ESI можно вызвать диссоциацию молекулярных ионов за счет столкновений ионов с молекулами газа в источнике. Достоинствами масс-спектрометрии ESI-MS являются: а) получение масс-спектров, практически свободных от фрагментов изучаемых молекул; б) способность источника трансформировать анализируемые вещества в растворе в свободные ионы в газовой фазе; в) способность совершать такую трансформацию для крупных, неустойчивых молекул, которые невозможно испарять для ионизации классическими методами. Эти особенности позволяют стыковать жидкостную хроматографию с масс-спектрометрией для анализа полярных веществ [12]. Трудности исследования фуллеренов и их соединений методом ESI-MS связаны со следующими свойствами рассматриваемых веществ.

- Не всегда исследуемые вещества диссоциированы в растворах на заряженные частицы.
- Они достаточно неустойчивы и нелетучие.
- Фуллерены в растворах — нейтральные и неполярные молекулы, т. е. трудно детектируемые рассматриваемым методом. Поэтому требуется их химическое преобразование в производные, удобные для детектирования.

ESI-MS-метод для исследования фуллеренов и их соединений применяется успешно как в режиме регистрации отрицательных, так и в режиме регистрации положительных ионов. Однако из-за того, что фуллерены и многие их производные обладают достаточно большой энергией сродства к электронам [8, 20], получение масс-спектра

в режиме отрицательных ионов не связано со сложной процедурой химической подготовки исследуемых проб, как это имеет место в режиме положительных ионов.

### УГЛЕРОДНЫЕ НАНОКЛАСТЕРЫ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ — НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ранее уже отмечалось, что и фуллерены, и углеродные нанотрубки обладают рядом уникальных свойств, что позволяет использовать их как материалы в тех областях науки и техники, где востребованы эти свойства. В последнее десятилетие внимание специалистов привлекают углеродные нанокластеры, в которых как матрица используются полимеры, керамика и металлы, а как наполнители — углеродные нанотрубки. В ходе исследований стало очевидным, что при оптимальной комбинации компонентов можно получить новые материалы, обладающие и свойствами наночастиц, и основными свойствами матрицы.

С этой точки зрения особый интерес представляют углеродные полимерные нанокластеры (PNCs). Характеристиками PNCs являются следующие показатели:

- большая численная концентрация частиц ( $10^5$ – $10^6 \cdot 1/\text{мкм}^3$ );

- расширенная площадь граничной (межфазной) поверхности частиц на единицу объема ( $10^3$ – $10^4 \text{ м}^2/\text{мл}$ );

- сравнимая шкала размеров между нанотрубками в матрице и расстояниями между частицами (10–50 нм);

- взаимная позиционная корреляция частиц.

В любом нанокластере имеются три главные составляющие: матрица, усиливающая компонента (наполнитель) и граничная или межфазная область. Межфазная область ответственна за связь между матрицей и наполнителем. Этим областям приписывают свойства, отличные от основной части матрицы, из-за ее близости к поверхности наполнителя. Она простирается в основную часть на расстояние нескольких десятков нм. Учитывая численную концентрацию частиц, можно сказать, что размеры этой области сравнимы с размерами наночастиц и она занимает в полном объеме матрицы доминирующую часть и является носителем всех полезных свойств [21, 22, 23]. Так как углеродные нанотрубки обладают высокими механическими, термическими и электрическими свойствами, используя их как наполнители в разных веществах, можно получать нанокластеры с различными "усиленными" свойствами.

К настоящему времени получены керамические (CNTs) и металлические (MNTs) нанокластеры [21, 24]. Керамические нанокластеры обладают

повышенной механической прочностью. Для различных высокотемпературных применений важна высокая теплопроводность. Такие нанокompозиты получены для использования как электрические проводники, нагревательные элементы, как средства контроля электрических сопротивлений. Для металлических матричных материалов усиление механических (твердость, прочность, виброустойчивость), электрических и магнитных свойств важно в широких областях применения. Однако получение углеродных CNTs и MNTs связано с трудностями из-за повреждения нанотрубок при высокотемпературных и химически активных воздействиях [21, 25, 26]. Существуют различные методы получения CNTs и MNTs, например методы получения с использованием смеси керамических и каталитических (Fe, Ni, Co) порошков, через которые пропускаются углеводороды ( $C_2H_2$ ,  $CH_4$ , ...). Однако получение исходной однородной дисперсии нанотрубок в этих матрицах остается наиболее сложной проблемой.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ФУЛЛЕРЕНОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Фуллерены и углеродные нанотрубки находят все растущее применение в различных областях науки, техники и промышленности. Так, углеродные нанотрубки как вещества с развитой поверхностью являются основой для создания обратимых накопительных систем большой емкости для хранения водорода [27]. На базе фуллеренсодержащих веществ создаются системы утилизации солнечной энергии. Наиболее продвинуты работы по созданию солнечных батарей на основе тонких пленок  $C_{60}$ , фотоэлектрические свойства которых хорошо изучены [29]. Полимерные, керамические и металлические углеродные нанокompозиты представляют собой новый класс материалов, обладающих уникальными свойствами и перспективами широкого применения в различных областях науки и техники. Фуллерены и их соединения как биологически активные вещества применяются в медицине как в терапевтических целях, так и для создания новых лекарственных средств.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования физических и химических свойств фуллеренов и других углеродных наночастиц, а также материалов с уникальными свойствами, создаваемых на их основе, достигли за последние два десятилетия значительных успехов. Фактически появились новые перспективные направления в науке и технологии, связанные с наночастицами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Goddard III W.A., Brenner D., Lyshevsky S.E., Iafrat G.J.* Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology. London, New York, Washington D.C.: C.R.C. Press, 2002. 824 p.
2. *Murayama H., Tomonou S., Alford J.M., Karpuk M.E.* // Book of Abstracts: 6<sup>th</sup> Biennial Int. Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters". St. Petersburg, 2003. P. 35.
3. *Раков Е.Г.* // Химическая технология. 2003. В.10. С. 2–7.
4. *Лазовик Ю.Е., Панов А.М.* // УФН. 1997. Т. 167, № 7. С. 751–774.
5. *Fuchs D., Rietschel H., Michelr., Fischer A., Weis P., Kappes M.* // J. Chem. Phys. 1996. V. 100. P. 725–729.
6. *Benedict L., Louie S., Cohen M.* // Phys. Rev. 1995. V. 52, N 11. P. 8541–8549.
7. *Obraztsova., Loubnin E.N., Usoltseva A.N., Obraztsov A.N.* // Abstracts of Invited Lectures and Contributed Papers "Fullerenes and Atomic Clusters". St. Petersburg, Russia, 1999. P. 50.
8. *Boltalina O.V.* // Book of Abstracts: 6<sup>th</sup> Biennial Int. Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters". St. Petersburg, Russia, 2003. P. 7.
9. *Boltalina O.V., Sidorov L.N., Borshchevsky A.Y., Sukhanova E.V., Skokan E.V.* // Rapid. Commun. Mass Spectrom. 1993. V. 7. P. 1009–1011.
10. *Deng J.P., Mou C.Y.* // Electrochemical Society Proceedings. 1995. V. 95, N 10. P. 1409–1423.
11. *Piotrovsky L.B., Kiselev O.I.* // Book of Abstracts: 6<sup>th</sup> Biennial Int. Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters". St. Petersburg, Russia, 2003. P. 40.
12. *Jinno K., Sato Y., Nagashima H., Itoh K.* // J. Microcolumn Separation. 1998. V. 10, N 1. P. 79–88.
13. *Meng R.M.* // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59. P. 3402–3404.
14. *Lin F., Xie Y., Zang* // Chin. Phys. Lett. 1993. V. 10, N 4. P. 211–212.
15. *Латыпов 3.3., Голиков Ю.К., Галль Л.Н.* // Научное приборостроение. 2000. Т. 10, № 4. С. 25–30.
16. *Latypov Z.Z., Golikov G.K., Gall L.N.* // Book of Abstracts: 6<sup>th</sup> Biennial Int. Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters". St. Petersburg, Russia, 2003. P. 50.
17. *Krupke R.* // Science. 2003. V. 301. P. 344–345.
18. *Deng J.P., Mou C.Y.* // J. Phys. Chem. 1995. V. 99, N 11. P. 14907–14910.
19. *Al-Jafari M.S., Barrow M.P., Taylor R., Drewello T.* // Int. J. Mass Spectrom. 1999. V. 184. P. L1.
20. *Khairallah G., Peel J.B.* // Chem. Phys. Lett. 1998. V. 296. P. 545–548.
21. *Thostenson E.T.* // Compos. Sci. Technol.. 2001. V. 61. N 13. P. 1899–1900.

22. *Harris P.F.* // *Int. Mat. Rev.* 2004. V. 49. P. 31–33.
23. *Lourie O.* // *Phys. Rev. Lett.* 1998. V. 81. P. 1638–1640.
24. *Chen W.X.* // *Comp. Sci. Technol.* 2000. V. 60, N 2. P. 301.
25. *Balázsi, Kónya Z., Wéber F., Biró L.P. and Arató P.* // *Mater. Sci. Eng. C.* 2003. V. 23. P. 1133–1137.
26. *Yang J., Schaller R.* // *Mater. Sci. Eng. A.* 2004. V. 370, N 1-2. P. 512–514.
27. *Lee S.M., Jeon K.H., Kim W.S., Moon J.M., Park Y.S., Lee Y.H.* // Abstracts of Invited Lectures and Contributed Papers: 5<sup>th</sup> Biennial Int. Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters". 2001. P. 17.
28. *Katz E.A.* // Abstracts of Invited Lectures and Contributed Papers: 5<sup>th</sup> Biennial Int. Workshop "Fullerenes and Atomic Clusters". 2001. P. 18.
29. *Deng J.P., Mou C.Y., Han C.C.* // *Chem. Phys. Lett.* 1996. V. 256. P. 96–100.
30. *Cech N.B., Enke C.G.* // *Mass Spectrom. Reviews.* 2001. V. 20. P. 362–387.

*приборостроения Институт аналитического РАН, Санкт-Петербург*

Материал поступил в редакцию 15.02.2005.

## FULLERENES AND CARBON NANOCCLUSERS

**Z. Z. Latypov, L. N. Gall**

*Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg*

The paper is an overview of the present state of research on fullerenes and carbon nanotubes whose technological applications are extremely promising. Considerable progress has been made in recent years in synthesizing carbon nanoclusters and nanocomposites whose applications in engineering, medicine and industry open up new vistas.