

ФУЛЛЕРЕНЫ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Панцулая Ш. Н.

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

Доклад посвящён краткому обзору одной из аллотропных модификаций углерода — фуллеренам, являющимся одновременно и углеродными каркасными структурами. Рассмотрены свойства и применение фуллеренов и их производных в различных отраслях нанотехнологий.

Фуллерены, бакиболы или букиболы представляют собой полые внутри частицы, образованные многогранниками из атомов углерода, связанных ковалентной связью (рис. 1). Особое место среди фуллеренов занимает частица из 60 атомов углерода — C_{60} , напоминающая микроскопический футбольный мяч. Фуллерены, принадлежащие классу аллотропных форм углерода, составлены из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода. Своим названием эти соединения обязаны инженеру и дизайнеру Ричарду Бакминстеру Фуллеру, чьи геодезические конструкции построены по этому принципу.

Фуллерены интересны своими свойствами. Во-первых, фуллерен — единственная растворимая форма углерода, растворима в целом ряде органических растворителей, что исключительно важно для осуществления химических превращений. Во-вторых, фуллерены могут присоединять большое количество различных веществ, как с расширением углеродной основы, так и с её сохранением. Они могут вступать в химические реакции, и образовывать самые различные новые, неизученные соединения, с новыми физическими, и химическими свойствами. В-третьих, фуллерены также могут образовывать различные полимеры.

Итак, уникальной особенностью молекулы фуллерена является ее способность образовывать беспрецедентное количество разнообразных производных в химических реакциях. Функционализация может протекать как с образованием экзодральных производных, т. е. с присоединением функциональных групп к углеродному каркасу извне, так и эндофуллеренов, с гетероатомом, размещенным внутри каркаса (рис. 2), а также гетерофуллеренов, в которых один из атомов углеродного каркаса замещен на гетероатом. Синтезированы и выделены эндофуллерены, обладающие сегнетоэлектрическими, парамагнитными, и диамагнитными свойствами.

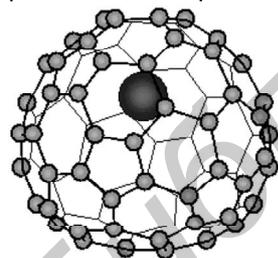


Рис. 2 – Пример структуры эндодрального комплекса фуллерена

Есть легированные фуллерены, обладающие свойствами очень хорошего электрического изолятора, есть фуллерены — замечательные проводники тока. Такие соединения пока мало изучены, но именно они открывают путь к новой электронике, к компьютерам, в тысячи раз превосходящим современные. Путем ионного напыления одного вида легированного фуллерена можно получить проводник, путем напыления другого вида легированного фуллерена — изолятор и резистор. Так можно получить простейшую электрическую схему, размер которой исчисляется отдельными молекулами. Это позволит создать в будущем настоящую фуллереновую электронику.

Синтез фуллеренов. Первые фуллерены выделяли из конденсированных паров графита, получаемых при лазерном облучении твёрдых графитовых образцов. Фактически, это были следы вещества. На первых порах все попытки экспериментаторов найти более дешёвые и производительные способы получения граммовых количеств фуллеренов (сжигание углеводородов в пламени, химический синтез и др.) к успеху не привели и метод «дуги» долгое время оставался наиболее продуктивным (производительность около 1 г/час). Впоследствии фирме *Mitsubishi* удалось наладить промышленное производство фуллеренов методом сжигания углеводородов, но такие фуллерены содержат кислород и поэтому дуговой метод по-прежнему остаётся единственным наиболее подходящим методом получения чистых фуллеренов.

Фуллерен в качестве материала для полупроводниковой техники. Молекулярный кристалл фуллерена является полупроводником с шириной запрещённой зоны ~1.5 эВ и его свойства во многом аналогичны свойствам других полупроводников. Поэтому ряд исследований был связан с вопросами использования фуллеренов в качестве нового материала для традиционных приложений в электронике: диод, транзистор, фотоэлемент и т. п. Здесь их преимуществом по сравнению с традиционным кремнием является малое время фотототклика (единицы нс). Однако существенным недостатком оказалось влияние кислорода на проводимость плёнок фуллеренов и, следовательно, возникла необходимость в защитных покрытиях. В этом смысле более

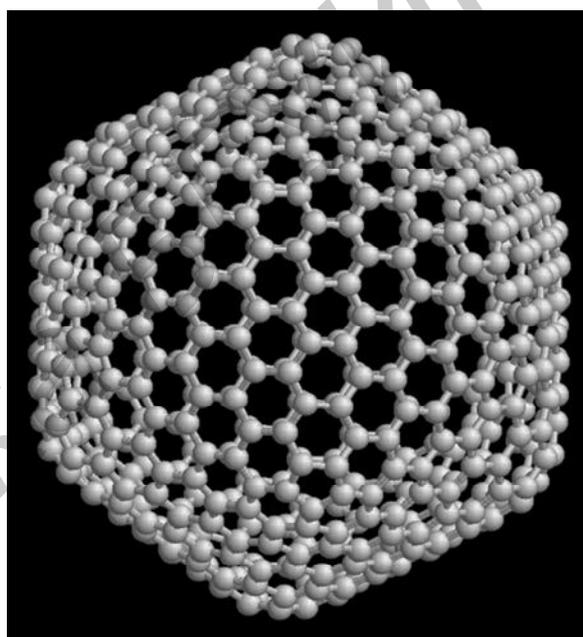


Рис. 1 – Трёхмерная модель молекулы фуллерена C_{60}

перспективно использовать молекулу фуллерена в качестве самостоятельного наноразмерного устройства и, в частности, усилительного элемента.

Фуллерен как фоторезист. Под действием видимого (энергия фотонов более 2 эВ), ультрафиолетового и более коротковолнового излучения фуллерены полимеризуются и в таком виде не растворяются органическими растворителями. В качестве иллюстрации применения фуллеренового фоторезиста можно привести пример получения субмикронного разрешения (порядка 20 нм) при травлении кремния электронным пучком с использованием маски из полимеризованной пленки C_{60} .

Сверхпроводящие соединения с C_{60} . Молекулярные кристаллы фуллеренов — полупроводники, однако в начале 1991 г. было установлено, что легирование твердого C_{60} небольшим количеством щелочного металла приводит к образованию материала с металлической проводимостью, который при низких температурах переходит в сверхпроводник. Легирование C_{60} производят путём обработки кристаллов парами металла при температурах в несколько сотен градусов Цельсия. При этом образуется структура типа X_3C_{60} (X — атом щелочного металла). Переход соединения K_3C_{60} в сверхпроводящее состояние происходит при температуре 19 К. Вскоре установили, что сверхпроводимостью обладают многие фуллериты, легированные атомами щелочных металлов в соотношении либо X_3C_{60} , либо XY_2C_{60} (X, Y — атомы щелочных металлов). Рекордсменом среди высокотемпературных сверхпроводников указанного типа оказался $RbCs_2C_{60}$ — его $T_{кр} = 33$ К.

Помимо указанных приложений, фуллерены находят широкое применение и в других отраслях технологической науки: в создании новых смазок и антифрикционных покрытий, новых типов топлива, алмазоподобных соединений сверхвысокой твёрдости, датчиков и красок.

ГЕНЕЗИС КОНЦЕПЦИИ «СЕРОЙ СЛИЗИ»

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Савич В. А.

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

Концепция «серой слизи» рассматривает гипотетический сценарий конца света как результат неконтролируемого размножения самореплицирующихся наноассемблеров (нанорепликаторов), сопровождаемого поглощением и переработкой в наномассу («серую слизь») всего доступного вещества на планете, в галактике, во Вселенной. Данная проблема представляет собой потенциальную опасность развития нанотехнологий и подлежит детальному рассмотрению.

Страх перед невидимой, всепроникающей и потому всеисильной опасностью возник, вероятно, с появлением человечества. Древнегреческие и древнеримские мыслители (Гиппократ, Варрон), высказавшие предположение о существовании мелких невидимых животных, вызывающих заразные болезни, положили начало эвристическому этапу развития микробиологии. Итальянский врач Д. Фракасторо, живший в XV в. н.э., сформулировал стройную гипотезу о живом контакти (*contagium vivum*). Эмпирическое подтверждение существования невидимых человеческого глазу микроорганизмов осуществил изобретатель микроскопа А. Левенгук в XVII в. В XVIII-XIX вв. было открыто великое множество возбудителей различных заболеваний. В 60-х годах XIX в. микробиолог Л. Пастер опроверг гипотезу о самозарождении микроорганизмов. В 1892 г. ботаник Д. И. Ивановский открыл вирусы.

Одним из первых идею реплицирующегося механизма, создающего свои уменьшенные копии и способного манипулировать с веществом на микроуровне, выдвинул писатель Б. Житков в фантастическом очерке «Микроруки» в 1931 г. [1].

Концепция самовоспроизводящихся из доступного материала машин, универсальных сборщиков, функционирующих по определенной программе и не нуждающихся в непосредственном контроле, была сформулирована в первой половине XX в. математиком Дж. фон Нейманом.

Идея машин фон Неймана была позднее развита до уровня самовоспроизводящихся космических кораблей, зондов фон Неймана. Крайне эффективным предполагается применение подобных механизмов в исследовании космоса. Существует также гипотеза о самовоспроизводящихся кораблях-сеятелях, способных к терраформированию и колонизации необитаемых миров. Ф. Саберхагеном в 1967 г. в цикле рассказов «Берсеркер» выдвинута гипотеза о боевых кораблях-репликаторах, запрограммированных на обнаружение и уничтожение жизненных форм в пределах галактик [2].

В 1959 г. в своей знаменитой лекции «*There's Plenty of Room at the Bottom*» физик Р. Фейнман высказал идею манипулирования отдельными атомами вещества механизмами-репликаторами, во многом близкую задумке Б. Житкова. Фейнман обратил внимание на сложности реализации подобного на практике в результате постепенного нивелирования определенных физических эффектов и возрастания роли иных при переходе в микро- и наномир. Он указал также и на такие преимущества данного подхода, как крайне высокая энергетическая эффективность, экономичность и универсальность [3].

В повести «Непобедимый», написанной в 1964 г., С. Лем обрисовал концепцию «умной пыли» — сети из малых беспроводных МЭМС или НЭМС, способных взаимодействовать между собой, получать данные о состоянии внешней среды и определенным образом реагировать на внешние раздражители. Лем описал феномен «мертвой эволюции» и пришел к выводу, что существование подобных неживых механизмов, подчиняющееся своим законам, ничем не хуже и не лучше существования живых белковых соединений [4].