
НАНОТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОМЕРОВ

**А.Е. Воробьев, Г.А. Кочофа, В.П. Малюков, З.В. Лысенкова,
И.Л. Капитонова, Мартин Зарума Торес, Е.В. Чекушина,
Р. Ибрагимов, А.С. Каукенова, А.В. Синченко,
И.М. Нарожный, Трабелсси Салим**

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье описаны такие составляющие наноиндустрии, как наноматериалы, наноинструменты, наноинтермедиаты, продукты с наноконпонентами, а также разнообразные нанообъекты и нанокомпозиты.

Авторами был сделан анализ основных методов получения наноматериалов.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноматериалы, наноиндустрия, наномеры.

Термин «нанотехнология» был введен японцем Норио Танигучи в 1974 г. на конференции Британского общества точной инженерии в статье «Об основной концепции нанотехнологии» [17], в которой она определялась как «обработка, разделение, соединение и деформация материалов по одной молекуле или атому».

В настоящее время под термином «нанотехнология» подразумевают создание и использование различных материалов, устройств и систем, структура которых регулируется в нанометровом масштабе, т.е. в диапазоне размеров атомов, молекул и надмолекулярных образований [3; 4; 6].

В соответствии с этим нанотехнологии предполагают контролируемое регулирование различных объектов на молекулярном и надмолекулярном уровне (1—100 нанометров), определяющих большинство их фундаментальных параметров и свойств, на основе целенаправленного манипулирования их атомами и молекулами [8; 9; 11].

В общем случае нанотехнологии позволяют [5]:

- создавать принципиально новые материалы;
- уменьшать размеры изделий, с сохранением (зачастую — улучшением) их свойств;
- придавать новые функции традиционным материалам;
- эффективно использовать различные наноструктуры;
- решать вопросы, невозможные в рамках традиционных технологий;
- снижать материало-, энерго- и трудоемкость выпускаемой продукции, а также уменьшать загрязнение окружающей среды.

По классификации Lux Research к наноиндустрии могут быть отнесены четыре группы нанопродуктов [12]:

- 1) наноматериалы (nanomaterials) — наноразмерные структуры в необработанной форме (наночастицы, нанотрубки, фуллерены и др.);

2) наноинструменты (nanotools) — техническое оборудование для наноисследований и нанопроизводства (в том числе программное обеспечение для молекулярного моделирования);

3) наноинтермедиаты (nanointermediates) — нанокomпоненты для более сложных продуктов (покрытия, ткани, суперпроводящие волокна, чипы, контрастные носители и др.);

4) продукты с нанокomпонентами (nano-enabled products) — любая продукция, в том или ином объеме содержащая наноинтермедиаты и характеризующаяся существенно улучшенными потребительскими свойствами.

Так, в результате действия нанотехнологий могут формироваться разнообразные нанообъекты и нанокomпозиты, которые обычно подразделяются на три основных класса [7]:

1) трехмерные частицы (получаемые взрывом проводников, плазменным синтезом, восстановлением тонких пленок и т.д.);

2) двумерные объекты — пленки (получаемые методами молекулярного наслаивания, CVD, ALD, а также методом ионного наслаивания и т.д.);

3) одномерные объекты — вискеры (эти объекты получают методом молекулярного наслаивания, введением веществ в цилиндрические микропоры и т.д.).

Также посредством нанотехнологий формируют нанокomпозиты — материалы, полученные введением наночастиц в какие либо матрицы.

В частности, к настоящему времени были получены следующие новые наночастицы и наноматериалы [10]:

- неионные коллоидные растворы наночастиц металлов;
- анионоподобные высококоординационные аквахелаты нанометаллов;
- гидратированные наночастицы биогенных металлов;
- гидратированные и карботированные наночастицы биогенных металлов;
- электрически заряженные коллоидные наночастицы металлов;
- электрически нейтральные и электрически заряженные металлические наночастицы в аморфном состоянии;
- структурированные агломераты наночастиц;
- наногальванические элементы;
- энергоаккумулирующие металлические наноматериалы.

Основные методы получения наноматериалов можно разделить на ряд технологических групп (рис. 1): методы на основе порошковой металлургии; методы, в основе которых лежит получение аморфных прекурсоров; поверхностные технологии (создание покрытий и модифицированных слоев с наноструктурой); методы, основанные на использовании интенсивной пластической деформации; комплексные методы, использующие последовательно или параллельно несколько разных технологий.

В таблице представлены наиболее распространенные способы получения наноматериалов.

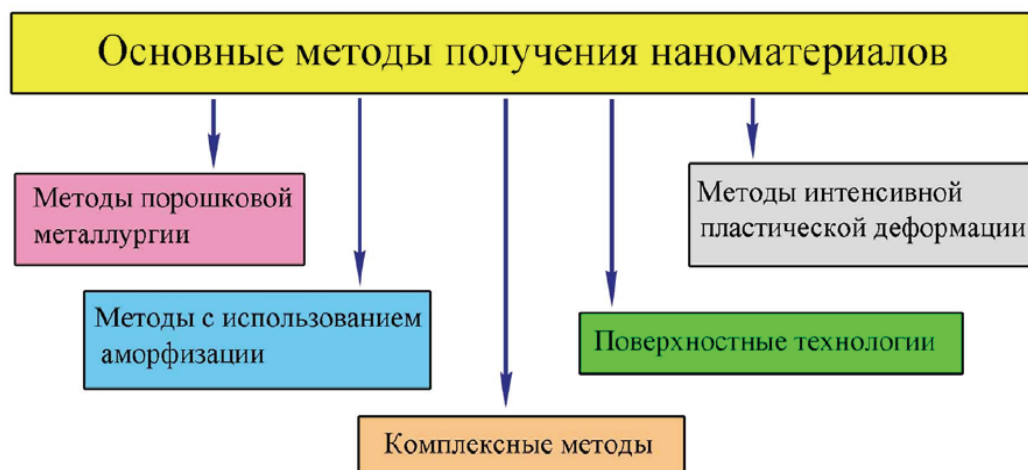


Рис. 1. Основные методы получения наноматериалов [1]

Таблица

Основные способы получения наноматериалов

Способ получения	Характеристика способа получения	Получаемые объекты
Фуллереновая дуга	Синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами	Фуллереновая сажа, углеродные нанотрубки
Газофазный метод	Температура 4000 °С и выше для получения фуллерена C ₆₀ СНТ	«Гостевые» наномолекулы
Каталитическое разложение углеводородов	Продувка смеси газообразного углеводорода и буферного газа по кварцевой трубке с металлическим порошком и температурой 700—1000 °С	Углеродные нити, многослойные нанотрубки, металлические частицы, покрытые графитовой оболочкой
Порошковая технология	Метод Глейтера (газофазное осаждение и компактирование); электроразрядное спекание; горячая обработка давлением; высокие статические и динамические давления при различных температурах	Металлы, сплавы, химические соединения
Интенсивная пластическая деформация	Равноканальное угловое прессование; деформация кручением; обработка давлением многослойных композитов	Металлы, сплавы
Кристаллизация из аморфного состояния	Обычные и высокие давления	Аморфные металлические покрытия
Пленочная технология	Химическое осаждение покрытий из газовой фазы (CVD); физическое осаждение из газовой фазы (PVD); электроосаждение; золь-гель технология	Металлы, сплавы, полимеры, химические соединения
Золь-гель синтез	Последовательные операции получения суспензии и высушивания полученной структуры	Аэрогель
Пептидный синтез	Последовательная конвергентная и дивергентная полимеризация из мономеров	Дендримеры

На рис. 2 схематически изображены основные стадии роста наночастиц золота внутри монокристалла.

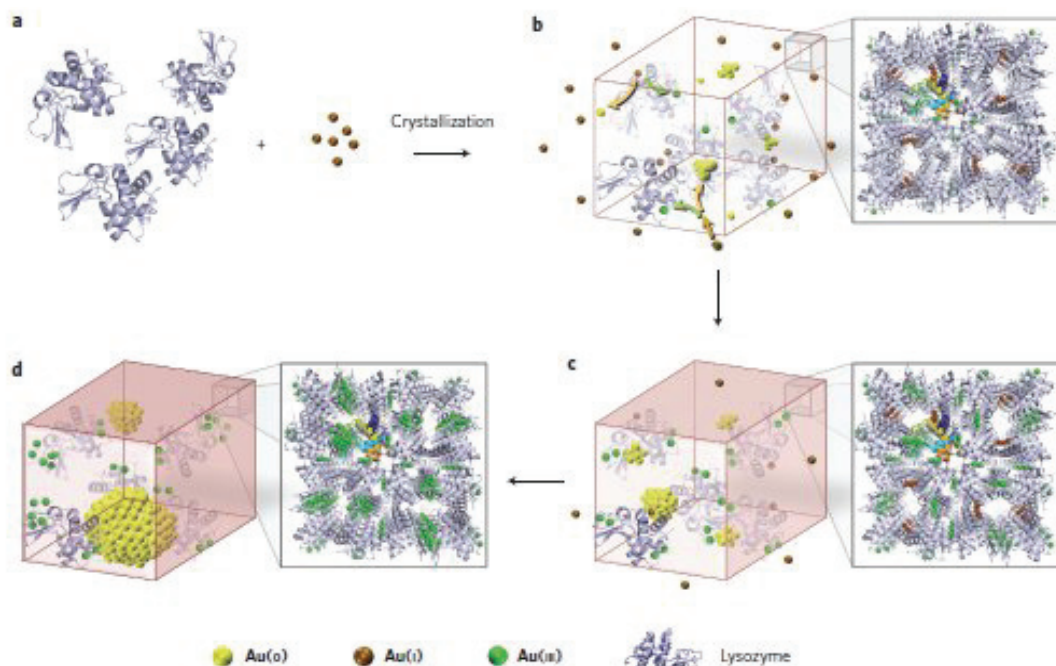


Рис. 2. Схема роста наночастиц золота

Варьируя скорость роста, можно получить наночастицы необходимого (заданного) размера. Так, на скорость роста наночастиц золота могут влиять посторонние ионы и молекулы, в частности, ионы ртути (II) ускоряют их рост, а три(2-карбоксиил)фосфин, наоборот, замедляет рост.

Кроме этого, необходимо отметить, что к настоящему времени лабораторным и промышленным методом уже созданы мелкодисперсные водные коллоидные растворы фуллеренов C_{60} и C_{70} , содержащие частицы с размерами менее 0,22 мкм (2200 Å) [14]. К тому же эти растворы довольно стабильны в течение трех месяцев [2].

Коллоидные растворы фуллеренов являются типичными гидрофобными гидрозолями, в которых частицы имеют поверхностный отрицательный заряд [13]. При этом сами же частицы имеют преимущественно сферическую форму [2].

В этой же работе сообщалось, что были получены коллоидные растворы с концентрацией фуллеренов C_{60} вплоть до $2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³, которые являются стабильными в течение 12—18 месяцев. При чем, эти растворы при добавлении к ним электролитов обычно коагулируют [2].

В настоящее время синтезирован еще один водный молекулярно-коллоидный раствор (C_N FWS), по меньшей мере, одного гидратированного фуллерена (описанный в статье [16]).

Минимальный размер кластерных частиц в таких растворах характеризуется значением 34 Å, а сами частицы представляют собой агрегаты, состоящие из 13 молекул фуллерена C_{60} , причем каждая из них окружена 20—24 молекулами H_2O [16].

Известны молекулы фуллеренов C_N , содержащие 70, 76, 82, 84 и до 240 атомов углерода. Очевидно, что чем большее число атомов углерода содержится в молекуле фуллерена, тем больше по размеру является и сама молекула [2].

При этом с увеличением N фуллерены становятся менее доступными и более редкими, однако основные физико-химические свойства у них остаются достаточно близкими. В результате в водных растворах они ведут себя практически одинаково и закономерности формирования коллоидных растворов фуллеренов (независимо от N) также одинаковы.

Символ @ в их формуле означает, что сферическая молекула фуллерена C_N окружена сферической сеткой, состоящей из адсорбированных молекул воды, связанных между собой водородными связями [2].

Как было показано в статье [16], количество молекул воды ($m + n$), адсорбированных на поверхности каждой молекулы фуллерена C_{60} , равно или больше 20.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Альимов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы: классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. — М., 2007. [Baloyan B.M., Kolmakov A.G., Alyimov M.I., Krotov A.M. Nanomaterialy: klassifikatsiya, osobennosti svoystv, primeneniye i tehnologii polucheniya. — М., 2007.]
- [2] Водный молекулярно-коллоидный раствор гидратированного фуллерена: Патент RU 2213692. [Vodniy molekulyarno-kolloidniy rastvor gidratirovannogo fullerena: Patent RU 2213692.]
- [3] Головин Ю.И. Основы нанотехнологий. — М.: Машиностроение, 2012. — 656 с. [Golovin Yu.I. Osnovy nanotekhnologii. — М.: Mashinostroeniye, 2012. — 656 s.]
- [4] Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. УРСС. 2005. [Gusev A.I. Nanomaterialy, nanostrukturny, nanotekhnologii. URSS. 2005.]
- [5] Зимон А.Д. Коллоидная химия наночастиц. Ч. 1. Особенности и свойства наночастиц: Учеб. пособие. — М.: МГУТУ, 2010. [Zimon A.D. Kolloidnaya himiya nanochastits. Chast 1. Osobennosti i svoystva nanochastits: Ucheb. posobie. — М.: MGUTU, 2010.]
- [6] Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам // Сб. ст. под ред. П.П. Мальцева. — М.: Техносфера, 2005. [Nano- i mikrosistemnaya tehnika. Ot issledovaniy k razrabotkam // Sbornik statey pod redaktsiye P.P. Maltseva. — М.: Tehnosfera, 2005.]
- [7] Нанотехнологии [Nanotekhnologii]. — URL: <http://nano-info.ru/nanotechnologies>.
- [8] Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю. Чаплыгина. — М.: Техносфера, 2005. [Nanotekhnologii v elektronike / Pod red. Yu. Chaplygina. — М.: Tehnosfera, 2005.]
- [9] Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. — М.: Физматлит, 2008. [Rambidi N.G., Berezkin A.V. Fizicheskie i himicheskie osnovy nanotekhnologii. — М.: Fizmatlit, 2008.]
- [10] Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. УРСС. 2008. [Foster L. Nanotekhnologii. Nauka, innovatsii i vozmozhnosti. URSS. 2008.]
- [11] Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа / Под ред. Г.К. Сафаралиева. — М.; Ижевск: ИИКИ, 2010. — 692 с. [Havkin A.Ya. Nanoyavleniya i nanotekhnologii v dobyche nefi i gaza / Pod red. G.K. Safaraliev. — М.; Izhevsk: IIKI, 2010. — 692 s.]
- [12] Яковлев А.Р. Развитие рынка нанотехнологий: благо или опасность? // Современные исследования социальных проблем. — Вып. № 9 (17). — 2012. [Yakovlev A.R. Razvitiye ryinka nanotekhnologii: blago ili opasnost? // Sovremennyye issledovaniya sotsialnykh problem. Vyp. # 9 (17). — 2012.]

- [13] *Andrievsky G.V.* et al. Colloidal Dispersions of Fullerene C₆₀ in Water: Some Properties and Regularities of Coagulation by Electrolytes, The Electrochem. Soc. Interface, 195-th Meeting, Seattle, 1999.
- [14] *Andrievsky G.V.* et al. On the Production of an Aqueous Colloidal Solution of Fullerenes, J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1995, p. 1281—1282.
- [15] *Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Karyakina E.L., Mchedlov-Petrossyan N.O.* Studies of aqueous colloidal solutions of fullerene C₆₀ by electron microscopy. Chem. Phys. Lett, 300 (1999) 392—396.
- [16] *Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Derevyanchenko L.I.* FWS — Molecular-colloid systems of hydrated fullerenes and their fractal clusters in water solutions. The Electrochemical Society Interface (195-th Meeting, May 2—6, 1999, Seattle, Washington) Spring 1999, Abs# 710.
- [17] *Taniguchi N.* On the Basic Concept of 'Nano-Technology'. Proc. Intl. Conf. Prod. London, Part II British Society of Precision Engineering, 1974.

NANOTECHNOLOGICAL FORMATION OF NANOMERS

**A.E. Vorobiev, G.A. Kochofa, V.P. Malukov, Z.V. Lysenkova,
I.L. Kapitonova, Zaruma Martin Torres, E.V. Chekushina,
R. Ibragimov, A.S. Kaukenova, A.V. Sinchenko,
I.M. Narozhnyi, Trabelssi Salim**

Department of oil-field geology, mining, oil and gas engineering
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115093

The article presents such components of nanoindustry as nanomaterials, nanotools, nanointermediaty products with nano-components, as well as a variety of nano-objects and nanocomposites. The authors analyzed the main methods of obtaining nanomaterials.

Key words: nanotechnology, nanomaterials, nanotech, nanomers.