УДК: 539.213; 541.182

Р.С. Сайфуллин, А.Р. Сайфуллин
Казанский государственный технологический университет, Казань
rsaif@kstu.ru

НАНОНАУКА И НАНОТЕХНОЛОГИЯ. ОБЩИЙ ВЗГЛЯД – ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ

Рассмотрены различные аспекты, достижения, перспективы и проблемы нанонауки и нанотехнологиии как разделов естественных наук, включающих физикохимию изучения и использования ультрамикрочастиц веществ, молекул, двумерных систем или других объектов с размерами в 1–10 нм, или, более широко, в 1–100 нм, в различных областях науки, техники и производства. Нанотехнология как следствие нанонауки манипулирует объектами указанных размеров, а также их предшественниками, т.е. атомами с размерами до 500 пикометров (пм), десятыми долями нанометра.

Ключевые слова: молекулы, частицы и объекты нанометрового диапазона, нанотерминалогия и её история, поверхностные явления и катализ, аномальные физические свойства объектов.

1. Общие положения

Термин нанотехнология был отмечен впервые японским исследователем Н. Танигучи (Norio Taniguchi) в 70-х годах 20 века (Encyclopedia…, 2007), а начал распространяться в 90-х 20 в. применительно к традиционным областям получения, исследования и использования частиц металлов и других веществ, размерами менее 100 нм, получаемых методами взрыва, плазмохимии и конденсацией при реакциях в газовой среде и в растворах электролитов (аэросилы, гели, золи (Рис. 1), кластеры (Рис. 2), коллоидные металлы, ультрадисперсные частицы (УДЧ)). Термин упоминался в англоязычных словарях в 1974, «как искусство манипулирования объектами на атомном и молекулярном уровне». Идея работ на ультраминиатюрном уровне была высказана еще ранее, в 1959, американским физиком Р. Фейнманом (Richard Feynman).

Напомним: нано (n-, н...) (< лат. *nanos* карлик) приставка для образования наименования дольных единиц, равных одной миллиардной доле исходных единиц, например, 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м, 1 нс (наносекунда) = 10^{-9} с. Область объектов сверхмалых размеров (Рис. 4) была и ранее предметом коллоидной химии, электрохимии, науки о гетерофазном катализе (кластеры, надкластерные образования и частицы золей, УДЧ в 1 – 5 нм и др.) и, вообще, науки о поверхностях раздела (емкое английское слово *interface*) и «драмах», происходящих на поверхности на атомно-молекулярном уровне (Натансон, 1959; Сайфуллин, 1983; 1990; Saifullin, 1992).

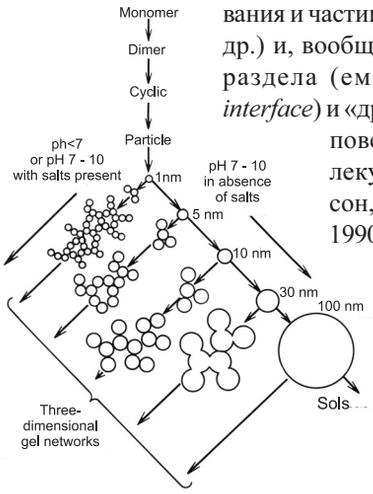

Рис. 1. Схема образования, агломерации и полимеризации гидратов диоксида кремния, традиционно используемых в составе композиционных материалов, лекарственных и пищевых средств.

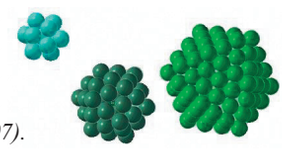

Рис. 2. Икосаэдрические (некристаллические) объединения сравнительно небольшого количества атомов (13-, 55- и 147 соответственно) в кластеры (Encyclopedia..., 2007).

Всплеск интереса к нанообъектам в первую декаду 21 в. обязан появившимся возможностям создания тончайших поверхностных пленок, супрамолекул, нанотрубок (Рис. 3), успехам плазмохимии, появлению атомной электронной микроскопии и других физических методов изучения ультрамикромира (Сайфуллин и др., 2001; 2005). Приведем некоторые сравнения: размеры самых крупных атомов, а именно, рубидия и цезия – ок. 0,5 нм; минимальные размеры твердых частичек (возможно субкристаллов, квазикристаллов) и капель – 1 – 2 нм; золи золота – 3 – 50 нм; тончайших пор активированного угля – 1 – 10 нм; поперечник пряди ДНК – 2,5 нм; молекулы гликогена – 10 нм. Многие вирусы имеют размеры 10 – 100 нм. А видимый невооруженным глазом минимальный размер (толщина человеческого волоса в 80 – 100 тыс. нм, т.е. около десятой доли мм) превышает указанные величины на 3 – 4 порядка.

Объекты нанотехнологии (фуллерены и нанотрубки, защитные слои, лекарственные средства, поверхность адсорбентов и катализаторов, изделия ультроикроэлектроники и др.) проявляют новые выраженные химические и физические свойства, отсутствующие у микро и макрообъктов.

Отметим некоторые достижения: наноусы («нановискеры» – *"nanowhiskers"*) длиной ок. 10 нм, молекулярно «сцепленные» в натуральные и синтетические волокна применяют в тканях специального назначения, нанокристаллы оксида цинка ZnO используются в невидимых (прозрачных) экранах, блокирующих УФ, а подобные кристаллики серебра, внедренные в медицинские перевязочные материалы, нейтрализуют бактерии и защищают от инфекций. Углеродные нанотрубки, открытые С. Жижима (Sumio Jijima) в Японии в 1991, применяют в современных средствах освещения (*"jumbotron"* лампы). Созданы дисководы ПК, химические, фотохимические и биологические сенсоры в целях мониторинга окружающей среды, охраны здоровья, обнаружения средств терроризма и наркотических веществ, контроля лекарств, а также обнаружения рако-

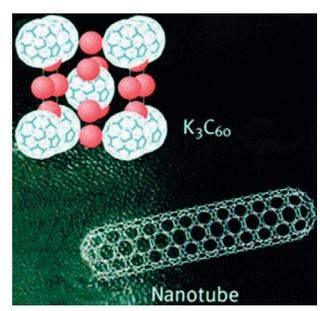

Рис. 3. Элементарная ячейка бакминстерфуллеренида калия (Z = 2), и изображение нанотрубки из молекул фуллерена C_{60} (Encyclopedia..., 2007).

вых клеток. Созданы «наноэлеваторы» для манипулирования молекулами, устройства для удаления, переноса, пересадки отдельных атомов или их групп (Рис. 5). Ультратонкие покрытия обеспечивают поверхностям любую степень прозрачности, стойкость к радиации, коррозии и износу. Создаются электронные, магнитные и механические изделия и системы с беспрецедентной скоростью обработки информации. Ожидают применения сверхминиатюрные устройства, вживляемые в организм с целью адресной доставки туда лекарственных средств или диагностирования.

Итак, нанотехнология – высокомеждисциплинарная наука о средствах получения и использования ультрамикрообъектов. Она включает как чистую науку (знания о химических, физических и биологических свойствах материи на надатомно-молекулярном уровне), так и прикладную (технология).

В противоположность современным научно-техническим стремлениям в нанотехнологии природа создала и развивает эту технологию в течение миллиардов лет, приме-

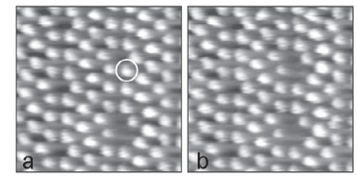

Рис. 5. Атомная поверхность кристалла кремния с извлекаемым отдельным атомом (слева, обведен кружком) и образованной на его месте вакансии для атома (справа)(Noriaki Oyabu et al., 2003).

няя с мастерской точностью энзимы и катализаторы для организации и сбора различных видов атомов и молекул в сложные микроскопические структуры, которые делают возможной жизнь. Создания природы обладают впечатляющими способностями, такими как восприятие солнечной энергии, превращение минералов (неорганические вещества) и воды в живые клетки, умение собирать и обрабатывать массивную информацию, а, используя «армию» нервных клеток, – умело копировать миллиарды битов информации в молекулах ДНК.

Итак, основная причина для качественного выделения поведения материалов на наноуровне (традиционно по шкале менее 100 нм) это – проявление у них квантово-механических эффектов с особенностями своей химии и физики, связанное с проявлением у их компонентов высокой удельной поверхности. Последняя в простейшем случае, для частиц сферической и кубической форм, выражается зависимостью $S_{уд} = 6/dl$, где d – плотность вещества, l – диаметр сферы или величина ребра куба.

Последствия дезинтеграции материи до УДЧ, или получение их конденсацией из атомно-молекулярного уровня видны из Рис. 5–8.

Каковы свойства ультрадисперсных частиц? Это ассоциация минимум нескольких тысяч атомов или молекул, обладающих высокой удельной поверхностью, а, следовательно, и высокой поверхностной энергией и подвижностью (Рис. 7).

Предельно малые размеры твердых частиц составляют ок. 1 – 2 нм (напр. благородных металлов или кремния), когда они обладают трехмерной упорядоченностью структурных единиц. Это – надкластерные частицы, весьма склонные к агрегированию и способные к самостоятельному существованию в вакууме или защитной среде. Они получаются конденсацией из газовой среды (напр. металлы, диоксид кремния в виде упомянутого аэросила или технический углерод (сажа)), или кристаллизацией из водных растворов, в частности ионной реакцией (например, $BaSO_4$, сульфиды d-металлов). УДЧ многих видов тугоплавких веществ (например, B, C, Si,

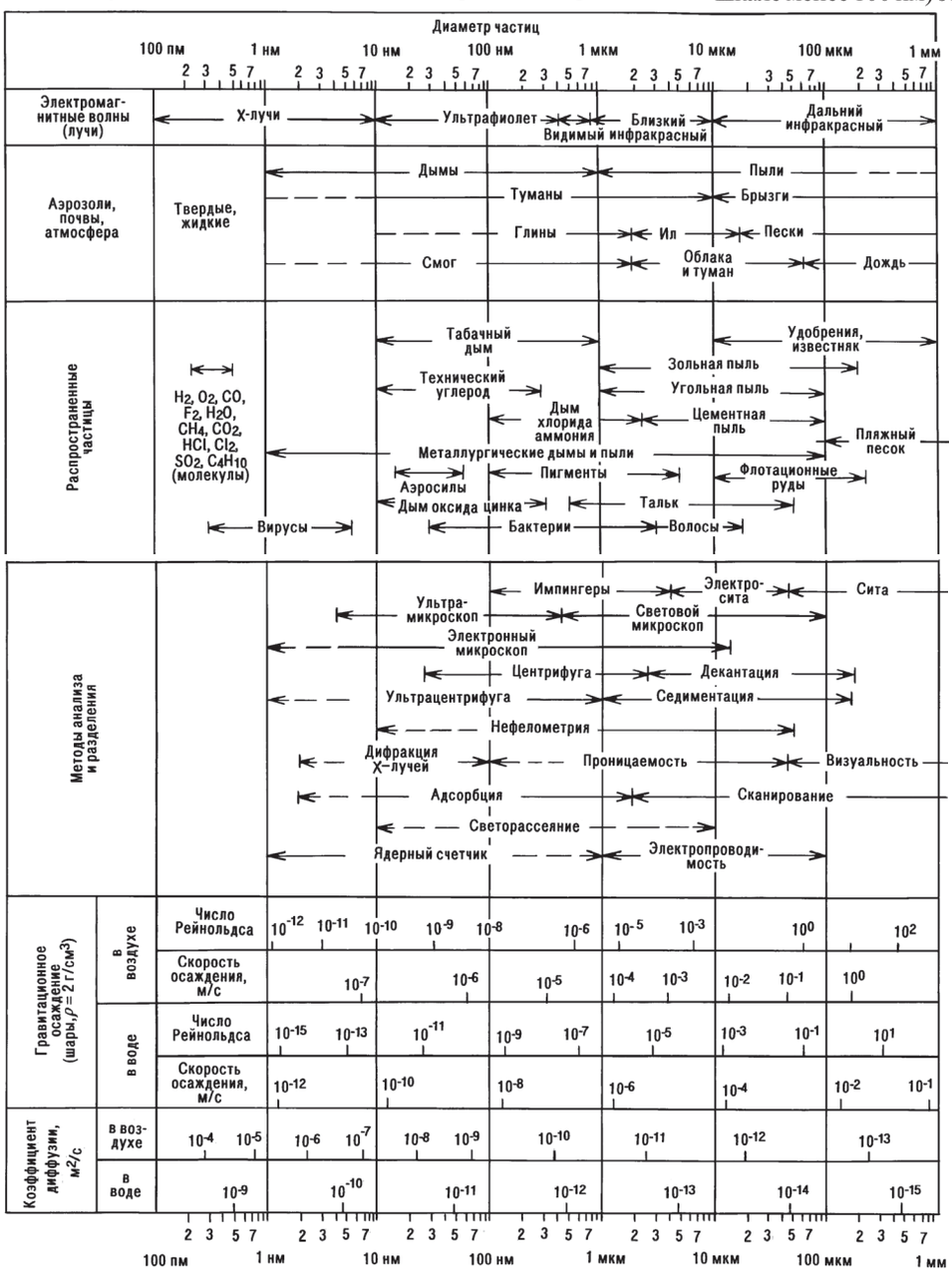

Рис. 4. Физические характеристики частиц, их классификация и методы идентификации (Сайфуллин, 1990).

Al_2O_3 и другие оксиды, бориды, карбиды) получают плазмохимическими реакциями.

В наномире материальные объекты попадают в совершенно иное состояние. Инертнейшие в компактном (макроскопическом) состоянии тела, золото и платина, будучи переведены в наноразмерное состояние становятся исключительно каталитически реакционноспособными и сверхлегкоплавкими. Из рисунка 8 видно, как резко падает температура плавления частицы при её диспергировании в нанообласть. Тугоплавкая платина переходит в разряд легкоплавких металлов, а калий становится жидким уже при температурах жидкого азота или кислорода.

Температура плавления кластера (T_c) как функции ее поперечного размера в виде ребра куба или диаметра шара (d) выражается соотношением:

$$T_c = T_{tab}\, exp[\, -(\gamma\, M/\Delta H_m\, d\rho)],$$

где T_{tab} – табличная температура плавления, γ – поверхностная энергия, M – молярная масса, ΔH_m – энтальпия плавления, ρ – плотность.

Известен, также, экспоненциальный характер повышения упругости паров вещества при переходе его в ультрамикросостояние:

$$p_c = p_{tab}\, exp[-(4\gamma\, M/RTd\rho)],$$

где p – соответствующие значения упругости паров, R – газовая постоянная.

Живучесть УДЧ находится под угрозой, что следует и из наличия критического размера кристалла или капли, ниже которого они термодинамически неустойчивы

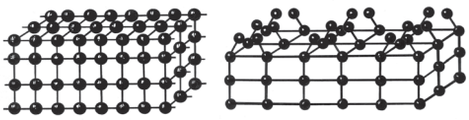

Рис. 6. Схемы вынужденного изменения межатомного расстояния при создании поверхности кристалла: слева – уменьшением межплоскостного расстояния, или, справа – образованием атомных пар.

(Рис.9). В кластерах размером в несколько нанометров суммарная энергия атомов сопоставима с поверхностной энергией объекта, некристалличность которого сохраняется обычно до объединения частиц числом вплоть до 2000.

Вот примеры повышенной активности ультрамикроразмерных объектов и проявления ими «необычных» свойств:

а) кластер из нескольких атомов ртути не проводит электрический ток, а объединение сотен таких атомов (еще не кристалл) проявляет металлические свойства;

б) металлические ртуть и галлий, будучи внедренными в узкие, диаметром в 4 нм, канальцы борсиликатного стекла, существуют в жидком состоянии вплоть до сверхнизких температур 30 – 50 K;

в) УДЧ нитрида титана TiN ($T_П$ 2950 °C) способны спекаться при температурах на 900 °C ниже, чем температуры спекания микропорошков этого вещества в классической порошковой металлургии;

г) нанообъекты различной геометрии, полученные

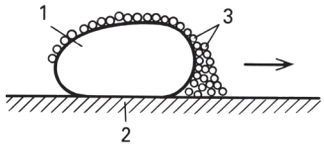

Рис. 7. Схема диффузии УДЧ (1) на твердой поверхности (2) путем перетекания ее поверхностных атомов (3) благодаря градиенту температуры, давления, потенциала или других факторов.

направленной комбинацией атомов углерода (волокна, нанотрубки, мономолекулярные слои и др.) обладают прочностью почти как у алмаза;

д) кристаллы наноалмаза (псевдоалмаз – разновидность углерода, искусственно полученная при детонации смеси тринитротолуола и циклотриметилентринитроамина) обладают тетрагональной структурой (a = 358,5 пм, b = 345 пм) в отличие от куб. модификации β-C с параметром a = 355,95 пм. Частицы его имеют предположительно полую шарообразную форму, в частности, с диаметром ок. 5 нм и толщиной стенок 0,6 нм, т.е. в несколько атомных слоев (размер атома углерода в алмазе 154 пм).

2. Краеугольные камни в развитии нанотехнологии (пионеры и фантасты)

Лауреат Нобелевской премии по физике (1965) Ричард Фейнман еще в 1959 на лекции Американскому физическому обществу представил свое видение будущего в связи с экстремальной миниатюризацией материалов, заявив: «Если мы способны на кончике иглы изобразить текст Нового завета, то почему нельзя поместить туда все 24 тома *"Encyclopedia Britannica"*? При увеличении в 25000 раз головка иглы займет площадь текста энциклопедии». Он отметил также высокую разрушающую и созидающую силу вездесущих микроскопических клеток, носителей информации, которыми необходимо и можно будет манипулировать. Американский физик К. Дрекслер (K. Eric Drexler) начав статьями (1981) и книгами *Engines of Creation* (1986) и *Nanosystems* (1992), был одним из первых в нанонауке. Им получена докторская степень, первая в области молекулярной нанотехнологии. Он описал молекулярное видение мира и предсказал «молекулярные машины» будущего – «конструкторов» (*"assemblers"*), способных манипулировать отдельными атомами, чтобы создать необходимые структуры, а также «размножителей» (*"replicators"*), способных воспроизводить себя, экономя время, работая с миллиардами молекул с целью создания полезного размера изделия. Он отметил в 1990: «Клетки и ткани в теле человека созданы и поддерживаются молекулярной системой машин (*mashinery*), которая в то же время может вести себя неадекватно – размножать вирусы, распространять раковые клетки, старить и разрушать. Новые молекулярные машины и компьютеры субклеточного размера смогут поддерживать собственные механизмы тела. Системы с нанокомпьютерами обратятся к молекулярным сенсорам и их рычагам для усиления иммунной системы, ищущей и разрушающей вирусы и раковые клетки. Подобные устройства откроют новые горизонты в медицине».

Некоторые вехи достижений. В лабораториях *Bell-Company* в 1968 изобретена молекулярно-лучевая эпитаксия (*molecular beam epitaxy*), позволившая два года спустя получить контролируемое однослойное атомное покрытие, а, следовательно, и следующие подобные наслаивания на первый слой. Это позволило получать сандвичевые слои в производстве полупроводников (ПП), представляющих один слой немагнитного сенсорного материала толщиной в 1 нм, заключенный между двумя магнитными слоями в компьютерном диске.При этом значительно увеличивается емкость диска.

В 1981 г. в лаборатории IBM в Швейцарии американский

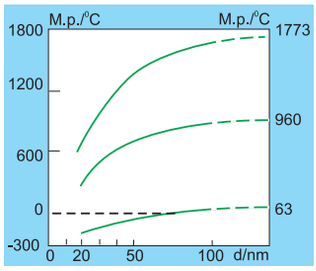

Рис. 8 Температуры плавления УДЧ в зависимости от их размеров. Сверху вниз: платина, серебро, калий.

физик К. Дрекслер (K. Eric Drexler), Г. Винниг (G. Binnig) и Г. Ропер (H. Rohrer) создали сканирующий туннельный микроскоп (Нобелевская премия по физике 1986), что явилось революционным шагом, позволившим исследователям наблюдать индивидуальные атомы на твердой поверхности.

Принцип работы микроскопа (Рис. 10) основан на квантово-механическом явлении – туннелировании. УДЧ с волновыми свойствами дозволено туннелировать вне поверхности твердого тела туда, куда согласно законам классической физики вход им запрещен. Создатели микроскопа впервые рассматривали поверхность золотого образца, когда на дисплее наблюдали ровные строи атомов и террасы между ними, изображающие оригинальные ступени роста или декристаллизации. Ступени имели высоту, равную размеру одного атома (ок. 0,3 нм). Далее, микроскоп позволял не только наблюдать атомы, но и перемещать («толкать») их по поверхности. Слабым смещением напряжения, приложенного к игле, стало возможным «приклеивать» отдельные атомы и затем их «скидывать». Таким путем в 1990 в той же компании Д.Эйглеру (Donald Eigler) удалось поместить (перенести) 35 атомов ксенона на определенное место на поверхность никеля.

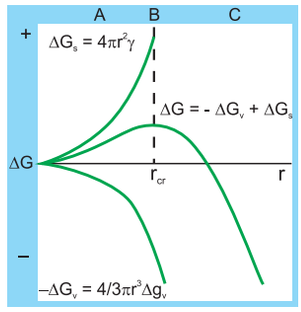

Рис. 9. Изменение энергии Гиббса (Δ G) кристалла в зависимости от его размера r. Области: A – субзародышей; B – критического зародыша; C – сверхзародышей. Индексы v и s относятся соответственно к объемной и поверхностной составляющей изменения энергии; r_{cr} – критический радиус кристаллитов; $\Delta G = -\,{}^4/_3\pi r^3 \Delta H_{пр}\,(\Delta T/T_{пр}) + 4\pi r^2\gamma$, где $\Delta H_{пр}$ и $T_{пр}$ – энтальпия и температура превращения; ΔT – градиент температуры относительно $T_{пр}$; γ – межфазная энергия.

Важным краеугольным камнем было открытие в 1985 учеными США и Британии фуллеренов, новых структурных модификаций углерода (Рис. 11), отмеченное в 1996 Нобелевской премией по химии. Затем были достигнуты новые успехи, созданы его многочисленные соединения, особенно много с органическими радикалами. В 1991 японские исследователи создали нанотрубки, у которых кольцеобразные структуры фуллерена вытянуты из сфер в длинные трубки разного диаметра (Рис. 3).

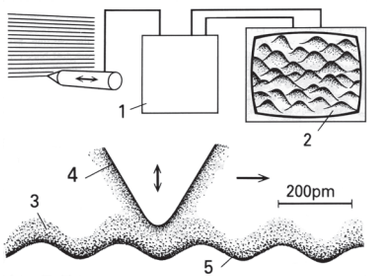

Рис. 10. Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа: 1 – ЭВМ; 2 – дисплей; 3 – электронное облако; 4 – сканирующая игла; 5 – исследуемая поверхность. Стрелками показаны направления перемещения (сканирование) иглы. Под влиянием регулируемой величины туннельного тока острие иглы удерживается на определенном расстоянии от поверхности атома – уплотнения электронного облака; бугры относятся к отдельным атомам.

Свойства материалов при наномасштабах. Понятия о составе и структуре вещества, как определяющих факторах для свойств и назначений материала, на наноуровне отходят от обычных представлений ввиду первостепенного проявления квантования и роли величины межфазной границы – соразмерности объекта и волновой функции. Последняя в ПП имеет порядок 10–100 нм и отвечает длинам волн (возбуждению) электронов, фотонов, фононов и магнонов. Возбуждения несут кванты энергии сквозь материю, определяя динамику своего распространения и перехода в другие формы энергии. Квантовая механика эксплуатируется давно в области электроники твердого тела для направленного перемещения электронов. Это – ПП устройства с разнообразной послойной структурой, сверхструктуры сплавов в каскадных лазерах для получения дальних инфракрасных излучений, барьеры для перемещения электронов, туннельный эффект, резонирующие туннельные диоды, квантовые скважины в телекоммуникациях, фотонные кристаллы, сверхструктурные кристаллы с послойной дифференциацией диэлектрических свойств.

Наноматериалы обладают размерозависимыми магнитными, механическими и реактивно-химическими характеристиками. При размерах в несколько нанометров кластеры обладают единичными магнитными доменами. Сильно спаренные магнитные спины на каждом отдельном атоме объединяются с тем, чтобы образовать свой «гигантский» спин. Такой спин ферромагнитного железа в пределах диаметра 16 нм и менее при комнатной температуре вращается свободно. Эффект обозначается как суперпарамагнетизм. В связи с этим отмечено например увеличение прочности тонкой пленки никеля от 0,15 до 5 ГПа при нанесении на него слоя оксида алюминия Al_2O_3 толщиной 2 нм.

Перспективы. Через подражание природным сверхпрочным наноструктурированным ансамблям (ракушки морских улиток, комбинации карбонатов с клейким гликопротеином) будут созданы экономичные по массе и расходу энергии материалы полимер-клей для транспорта. Другое направление – миниатюризация сенсоров (мозги современных контрольных систем). Их десятки в автомобилях – крупных потребителях сырья и материалов, переходящих впоследствии в «шикарный мусор». Другая жизненно важная область назначения будущих микросенсоров – распознавание опасных болезней в организме и лечение.

В области переработки продуктов питания, биоконверсии энергии, в очистке жидких и газовых сред и выделении из них ценных или опасных веществ и создании эффективных топливных элементов необходимы тончайшие фильтры. Важнейшие результаты должны быть получены в изучении роли наночастиц углерода в экологии и охране здоровья. Эти частицы – выхлопы автомобилей, продукты и выбросы предприятий, включая компоненты фото- и печатной техники, износа автомобильных шин, массовое произ-

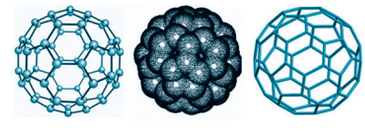

Рис. 11. Структура фуллерена C_{60} (бакминстерфуллерен) в точечном, шаровом и полиэдрическом изображении ((при 110 К – гранецентрированная кубическая решетка, a = 1405,2 пм (Z = 4), d (вычисл.) 1,722). Размер молекулы около 1 нм (Encyclopedia..., 2007).

водство которых связано с использованием канцерогенных наночастиц сажи («технический углерод») и аэросилов (высокодисперсный диоксид кремния). Другие наночастицы, например диоксид титана и другие оксиды распространены как пищевые добавки или компоненты лекарств. Их выход в воздух, дыхание ими, адсорбция в организм через кожу и другие органы ставят новые проблемы.

Важна доставка лекарств к нуждающимся в них органам. Более половины создаваемых ежегодно лекарств водонерастворимы, что не гарантирует их полное усвоение. Последнее будет обеспечено предварительным капсулированием их в нанодиспергированном состоянии для последующей доставки по назначению. Особая роль принадлежит дендримерам и фуллеренам с полостями, могущими включать в себе макромолекулы других веществ и отдавать их затем в заранее указанные места организма.

Допускается использование капсул, покрытых тончайшим слоем золота, способным поглощать свет с различными длинами волн. Поскольку инфракрасный свет способен проникать на несколько сантиметров вглубь тканей, то он может прогревом освободить содержимое капсулы (лекарство) в заданном месте для воздействия на пораженный орган. Помимо этого, к внешней поверхности золота могут прикрепляться антитела, специфически связывающие злокачественные клетки и предохраняющие их от «расползания».

Биоанализы. Создание и развитие генноуровневого оборудования, способного иметь дело с отдельными генами,, использование наночастичных ПП, например, селенида кадмия CdSe, излучающего волны разной частоты в зависимости от размера частиц, использование наночастиц из золота для раскрепления отдельных сегментов ДНК на разные стороны этой частицы и прикрепления магнитных наночастиц к антителам.

Разработаны микрожидкостные системы (*"labs-on-chips*") для микробиохимического анализа, все электронные и механические компоненты которых вмещаются в объем, размером не более кредитной карты. Это важно, например при анализе ДНК, весьма чувствительного к энтропийному эффекту. Наношкалы прибора позволяют дифференцировать их молекулы с разными длинами без их повреждения. В перспективе для корректировки зрения станут реальными микрофотодетекторы, подающие сигнал через оптические нервы от сетчатки глаза в головной мозг. Ряд наносистем предназначается для вживления в нейроны мозга с целью регулирования двигательных функций организма.

Молекулярная электроника. Молекулы органических веществ поперечником в пол-нанометра и длиной в несколько нанометров и ДНК, помещенные на кремниевый чип могут стать основой миниатюризации видеотранзисторов. Для магнитных хранителей информации становятся реальным «плавание» головки над диском на расстоянии всего 10 нм.

Моноэлектронные транзисторы. При наномасштабах величина энергии, необходимая для помещения электрона на отдельный физический островок с преодолением туннельного барьера, становится значительной, что является основой для компоновки моноэлектронного транзистора, что реально при низких температурах, когда малы термические флуктуации. Устройство для работы при комнатной температуре должно быть еще более миниатюризованным, вплоть до размера в 1 нм.

Нанотрубки и нанопровода. Углеродные нанотрубки (Рис. 3) могут быть ПП или эффективными проводниками тока. Совершенные нанотрубки «баллистичны», т.е. ток в них имеет незначительное рассеивание и низкие потери, следовательно, в удельном отношении они являются лучшими проводниками тока. Такой провод диаметром в 1,4 нм в сотню раз меньше, чем ширина запоров в приспособлениях с кремниевыми полупроводниками. Последние используются в экспериментальных устройствах, таких как «полеэффектные» и биполярные транзисторы, инверторы, светоизлучающие диоды, сенсоры и, даже, в простых образцах искусственного интеллекта.

Печатные устройства. Наномасштабные впечатывания, штамповка и литье способны перейти в диапазоны размеров в 20 – 40 нм, где возможно использование способности органических тиолов прочно адсорбироваться на поверхности золота (тонкие слои его).

Заключение

Спектр современных поисков в России и мире в рассматриваемой области виден, помимо перечисленного выше, и из материалов двух последних Менделеевских съездов по общей и прикладной химии 2003 и 2007 гг., где доклады и сообщения по нанотехнологии были выделены в отдельные секции (Материалы…, 2003; Химия…, 2007).

Тематика докладов охватывает области получения и изучения УДЧ веществ различных классов многими методами, включая механо-, электро-, биохимическую, лазерную и стандартные химические методы, а также. использованием частиц для создания композиционных материалов и покрытий, в том числе композиционных электрохимических покрытий (КЭП), систем с органическими полимерами (растворы и твердые тела), а также нанотрубок и сенсоров на их основе. Исследуются керамические материалы, стекла, фильтры, поверхностные свойства (адсорбция, катализ и др.).

В докладе ВИНИТИ РАН на съезде приведены следующие данные: по нано-науке, -технологии, -материалам, -изделиям в 2006 в мире было опубликовано 38 тыс. статей. Периодические издания с этими публикациями включают как классические журналы химического и физического профиля, так и новые 83 журнала, полностью посвященные нанотематике. Среди последних 41 журнал издается в США, 15 в Великобритании, 7 в Германии, 5 в Нидерландах и по несколько журналов в других наукосоздающих странах (Россия, Украина, Китай, Япония, Швейцария). В сумме с рассматриваемой тематикой общаются до 300 периодических изданий. Отметим также некоторые новые монографии (Уайтсайдс, Эйглер, 2002; Гусев, 2005) и учебные пособия (Кобаяси, 2005; Андриевский, Гогуля, 2005; Сергеев, 2006) в области нанохимии и нанотехнологии.

В заключение следует отметить и личные области интересов авторов в нанотехнологии. В течение последнего десятилетия группой исследователей развивалось важное направление в области прикладной электрохимии – теория и практика композиционных электрохимических покрытий (КЭП). Рожденное в КХТИ еще в начале 1960-х, оно использует сегодня (в отличие от прошлого) в качестве дисперсной фазы в тонких металлических слоях наночастицы простых веществ (B, C, Si), оксидов (Al_2O_3, SiO_2,TiO_2), боридов, карбидов, нитридов. Рождение и развитие этого направления отражено в подробной статье в

Школьный геологический музей – 10 лет

Исполнилось 10 лет со дня основания школьного геологического музея в 15-ой татарской гимназии Кировского района города Казани. Коллектив гимназии с преподавателями геологического факультета КГУ проводят большую работу по формированию коллекций образцов, их классификации по различным разделам геологи. Проводятся занятия по природоведению, географии с углубленным изучением основ геологии. Учеников интересуют проблемы: от вопросов мироздания до вопросов строения минералов и полезных ископаемых. Особый интерес представляют экспозиции, связанные с геологией и полезными ископаемыми Волжско-Камского региона, одного из древнейших регионов развития цивилизации. Именно этот регион являлся одним из центров металлургического производства, основу которого составляли медные руды, разрабатывавшиеся еще в 3-ем тысячелетии до н.э. племенами фатьяновской культуры. Их разработка способствовала развитию торгово-культурных связей древнего Татарстана с другими регионами.

Интересны витрины геолого-палеонтологических коллекций, где представлены ископаемые остатки девонской, каменноугольной, пермской систем. Это и коллекции мезозоя Татарстана – белемниты («чертовы пальцы»), остатки аммоноидей, гигантских раковин симберскитосов – остатков головоногих моллюсков юрского моря. Большим вниманием пользуются бивни и зубы мамонта, остатки рогов древних оленей. Особой значение в экспозициях музея уделено главному богатству Татарстана – нефти. Большой вклад в организации экспозиции внесли сотрудники ТГРУ ОАО «Татнефть», ЦНИИГеолнеруд. Знакомство с геологическими экспозициями расширяет кругозор учеников гимназии и демонстрирует значение Татарстана как одной из мощных минерально-сырьевых баз России.

Созданию школьного геологического музея способствовала инициатива директора гимназии Ф.Ф. Харисова, к.пед.н, завуча Ф.С.Садыковой, зав.библиотекой И.С. Гарафутдиновой, а также всего преподавательского коллектива гимназии, оказавшего поддержку при решении трудных организационных вопросов. В настоящее время на базе музея гимназии периодически проводятся семинары для учителей школ и другие мероприятия, способствующие как развитию педагогического процесса, так и делу формирования у молодого поколения осознанного патриотического отношения к родному краю.

В.Г.Изотов, Л.М.Ситдикова

Окончание статьи А.С. Сайфуллина и др. “Нанонаука и ...”

сборнике (Сайфуллин, 2007). Ряд результатов исследований опубликован, в частности, в (Сайфуллин и др., 2004; 2006) и в ежегодных, начиная с 2004, материалах Международных конференций (Сайфуллин и др., 2007).

Литература

Андриевский Р. А., Гогуля А. В. *Наноструктурные материалы.* М.: Изд. центр «Академия». 2005. 192.

Гусев А. И. *Нано-материалы, -структуры, -технологии*. М.: Физматиздат. 2005. 414.

Кобаяси Г. Н. В*введение в нанотехнологию.* М.: Бином. 2005. 134.

Материалы и нанотехнологии. *17 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тез. докл*. Казань. Т.2. 2003.

Натансон Э. М. *Коллоидные металлы*. Киев: Изд. АН УССР. 1959. 348.

Сергеев Г. Б. *Нанохимия.* М.: Книжный дом «Университет». 2006. 336.

Сайфуллин Р. С. *Неорганические композиционные материалы.* М.: Химия. 1983. 304.

Сайфуллин Р.С. *Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов.* М.: Химия. 1990. 240.

Сайфуллин Р.С. *Рождение нового научного направления в кн.: Лидеры научных школ КХТИ–КГТУ.* Казань: ЗАО «Новое знание». 2007. 203-223.

Сайфуллин, Р. С. Сайфуллин А.Р. У*ниверсальный лексикон: Химия, физика, технология.* М.: Логос. 2001; 2002. 448.

Сайфуллин Р.С., Абрамовская Е.С., Агеева Е.А. и др. Сер. статей: Наноструктурированные композиционные электрохимические покрытия. *Сб.: «Современные проблемы специальной технической химии.* 2007. 311-319.

Сайфуллин, Р.С. Водопьянова С.В, Мингазова Г.Г., Фомина Р.Е. Нанокомпозиционные электрохимические покрытия с матрицами из меди и хрома. *Изв. вузов Сев.-Кавказского региона. Технич. науки.* Спец. вып. 2004. 31-38.

Сайфуллин, Р. С., Водопьянова С. В., Сайфуллин А. Р. *Достижения естественных наук и эра Нобелевских премий*. Казань: Фэн. 2005. 364.

Сайфуллин Р.С., Гревцев В.А., Водопьянова С.В. и др. Сер. статей: Композиционные электрохимические покрытия с матрицами из цинка и олова. *Вестник КГТУ.* 2006. № 3. 97-133.

Уайтсайдс Д., Эйглер Д. *Нанотехнология в ближайшем десятилетии (прогнозы, направление исследований).* М.: Мир. 2002. 249.

Химия материалов, наноструктуры и нанотехнология. *18 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тез. докл.* М. 2007. Т.2.

Encyclopedia Britannica. 19-th Ed.: Encyclopedia Britannica Inc. Chicago. Vol. 1-26. 2007.

Noriaki Oyabu, Oscar Custance et al. Mechanical vertical manipulation of selected single atoms by soft nanoindentation using near contact atomic force microscopy. *Phys. Rev. Lett.* 90. 2003. 176102.

Saifullin R. S. *Physical Chemistry of Inorganic Polymeric and Composite Materials.* Ellis Horwood Ltd. 1992. 240.

R.S.Sayfullin, A.R.Sayfullin. **Nanoscience and Nanotechnology. Common Outlook – From Past to Future.**

Various aspects, achievements, perspectives and problems of nanoscience and nanotechnology are considered.The nanoscience and technology are part of natural sciences including physicochemistry of ultramicroparticles of substances, molecules, two-dimensional systems and other objects with sizes in 1–100 nanometres. Nanotechnology as a consequence of nanoscience operates with subjects of above-named sizes and their precursors, i.e. atoms with sizes up to 500 picometres (decimal parts of nanometres).

Key words: molecules, particles and objects of nanometric dimensions, nanoterminology and its history, interface and catalysis, anomalous physical properties of objects and their quantomechanical evaluation.

Ренат Саляхович Сайфуллин

докт. техн. наук, проф. каф. технологии неорганических веществ и материалов

Адель Ренатович Сайфуллин

канд. хим. наук.

Казанский гос. технологический университет
420015, Казань, К.Маркса, 68. Тел.: (843) 272-80-20