

№ 3

"НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В НАУКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ОБРАЗОВАНИИ,
НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ,
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
ИЗОБРЕТЕНИЯ

Москва
2012

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
<i>Э.О.Цатурян</i>	К 80-летию Московского государственного открытого университета	1
<i>И.Г.Панков</i>	Рязанский «Политехнический институт» и его роль в становлении регионального инженерного образования	3
<i>В.П.Фомина</i>	Формирование инновационного подхода в управлении факультетом «Государственное управление и менеджмент»	7
<u>Физика</u>		
<i>С.В.Копылов, Т.С.Райхенберг</i>	Физика: от прошлого к будущему - XXI век	11
<i>В.А.Васин, Н.Г.Фатьянова, Б.Н.Васичев, С.В.Степанчиков</i>	Проблемы построения микро- и нано- устройств с применением нанотехнологий	17
<i>Л.П.Гнатюк-Данильчук, Д.А.Быстров</i>	Вопросы устойчивости динамических систем в применении к теории высокотемпературной сверхпроводимости керамики	25
<i>Ю.Н.Шумов, Ф.М.Ермилов, О.А.Иванов</i>	Электромеханические накопители энергии – состояние в мировой практике и перспективы развития	29
<i>А.П.Попов, Т.А.Попова, Д.А.Семеренко, Ю.Ю.Комаров</i>	Возможность использования жидких кристаллов при создании сенсоров	38
<i>А.Б.Пермяков, В.В.Рыбников</i>	Методика определения локальных коэффициентов теплоотдачи в теплообменниках сложной геометрической формы	41
<u>Вопросы высшего образования</u>		
<i>К.Н.Лунгу</i>	Понимающее усвоение как условие формирования профессиональной компетентности специалиста	44
<i>Л.А.Виликотская</i>	О нравственном аспекте современного образования	49

Научно-технический журнал

«МГОУ-XXI-НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

№ 3, 2012

выпускается с 1994 года

Зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телевидения и
средств массовых коммуникаций

регистрационный номер ПИ №77-1883

Журнал выпускается

**МОСКОВСКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ОТКРЫТЫМ
УНИВЕРСИТЕТОМ
им. В.С.Черномырдина**

Редакция Научно-технического журнала «Новые технологии»

Наш адрес:
г.Москва
ул. Павла Корчагина,22
МГОУ

Для писем:
107996, г.Москва,
ул. Павла Корчагина,22
МГОУ, к.308

Телефон
(495)
682-84-18

E-mail
capu@mail.ru

Главный редактор профессор Г.Б.Онищенко

Зак. № 159 Отпечатано в типографии ООО «РЕЖАНС»

ного поля, а как именно самостоятельную сущность.

Но это уже скорее философия, чем физика. Природа же физики - как говорил Я. Смородинский - не терпит болтовни. Даже если эта болтовня на языке тензорных уравнений и функции Грина. Впрочем, как это было давно. Теперь надо говорить о болтовне в терминах пространства Колаби-Яо, исключительных групп Картана, инфлатонов и т.д.

Заключение

По последним сообщениям с Большого Адронного Коллайдера (БАК) с достаточной надёжностью можно считать открытым бозон Хиггса. Если это так, то Стандартная модель элементарных частиц, с точки зрения совокупности компонент, может считаться замкнутой. Конечно, предстоит большая работа по изучению его свойств, но последний штрих в этой

картине нанесён. Это конечно целый этап в развитии физики частиц и физики в целом. Вместе с тем, это всё же не конец, но этап. А из выше изложенного, даже без перехода за границу меры, впереди очень длинный путь.

Литература

1. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика. – М.: КомКнига, 2005. – 512 с.
2. Барроу Д. Новые теории всего. – Минск: Попурри, 2012. 368 с.
3. Фильченков М.Л., Копылов С.В., Евдокимов В.С. Гравитация, астрофизика, космология: Дополнительные главы курса общей физики. Изд. 2-е испр. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 104 с.
4. <http://elementy.ru>
5. <http://www.astronet.ru>
6. <http://ru.wikipedia.org>
7. <http://arxiv.org>.

ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ МИКРО- И НАНО- УСТРОЙСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Канд. техн. наук *В.А.Васин*, *Н.Г.Фатьянова*, доктор техн. наук *Б.Н.Васичев*, канд. техн. наук *С.В. Степанчиков* (Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета, Высшая школа экономики)

Под нанотехнологическим процессом понимается рукотворное создание нанообъектов из атомов с заданными физико-химическими свойствами, стоящими в основе формирования новых материалов, новых объектов электроники и информатики, энергетики и транспорта, пищевых и медико-биологических продуктов и много другого. Это является свидетельством начала создания принципиально новых технологических процессов, не имеющих существующих аналогов.

Имеются основополагающие результаты исследований свойств некоторых нанообъектов. Так, например, добываемые фундаментальной и прикладной науками знания и накапливаемый ими экспериментальный материал позволяет создавать методические рекомендации, обеспечивающие разработку новых материалов и объектов исследования, новые технологии производства, новое научное и производ-

ственное оборудование, в основном, с применением микро- и наноприводов.

Многие современные направления в материаловедении, нанoeлектронике, прикладной химии связаны с фуллеренами, нанотрубками и другими близкими структурами, которые можно назвать общим термином “каркасные” структуры [1÷4]. Углеродные каркасные структуры — это большие (иногда гигантского размера) молекулы, состоящие исключительно из атомов одного элемента – углерода. Главная особенность таких молекул – их каркасная форма, которая выглядит как замкнутые, пустые оболочки. Каркасные структуры являются новой аллотропной формой материи. Так в 1985 году была открыта новая форма углерода: сферическая структура из 60 атомов углерода. Такие углеродные кластеры стали называть фуллеренами. В 1991 году были обнаружены другие формы углерода: продолговатые трубчатые обра-

зования, названные “нанотрубками”. Данные структуры состоят из сетки атомов углерода в форме гексагонов, и могут рассматриваться как цилиндры, скрученные из планарной графеновой плоскости.

Каркасные структуры имеют очень малую массу и в то же время рекордно высокий модуль упругости (до 1 ТПа). Нанотрубки на данный момент являются тончайшими волокнами, которые, когда либо, могли быть получены. Их прочность примерно в 20 раз больше, чем у самой прочной стали. Их теплопроводность примерно в 2 раза выше, чем у алмаза. Кроме углеродных структур, научились получать боразотные и другие нанотрубки.

До определённого момента развития науки наночастицы не подвергались тщательному анализу. Они имеют широкий диапазон различных форм. Наблюдаются конусообразные и дисковые структуры и др. Частицы, имеющие многогранные формы иногда имеют пентагональные и гексагональные профили. Исследования с помощью электронных микроскопов с высокой разрешающей способностью (около 0,1 нм) свидетельствуют о том, что наночастицы могут иметь как замкнутую концентрическую структуру, так и незамкнутую ракушкообразную структуру. Наблюдаются разрывы, которые имеют вид линейной дислокации. Наиболее вероятно, что их первоначальные структуры родственны, а зарождение подобно.

Свойства нанобъектов

Наиболее удивительные из всех физических свойств – электронно-транспортные свойства графита, неупорядоченных углеродов и углеродных волокон. Исследования этой группы объектов показало, что электрические свойства графитов и графитизированного углерода могут сильно меняться в зависимости от степени кристаллического упорядочения атомов.

Только из атомов одного элемента, например, углерода (состоящих из 6 электронов, 6 протонов и 6 нейтронов), могут быть образованы различные формы кристаллической структуры углерода и, как следствие, конфигурации нанобъектов.

Доказательством существования сложных структурных процессов происходящих при формировании нанобъектов того или иного вида могут служить экспериментальные результаты полученные в ряде лабораторий. Углеродные нанобъекты можно назвать объектами, начинающимися кристаллизацией вещества, или просто – точками кристаллизации. Именно с этого начинается развитие и образование вещества. До сих пор существовала некоторая неопределённость относительно начального этапа образования тех или иных форм нанобъектов. Это важный этап исследования, так как без понимания этого процесса невозможно управлять формированием требуемых нанобъектов.

Модели наносборки или роста нанобъектов

До сих пор нет ясности относительно начального этапа образования кристаллической решётки, например сажи. Исследователи Г. Крото и Р. Смоли [5] заинтересовались, могут ли фуллереноподобные структуры участвовать в процессе образования структур типа сажи. Углеродные частицы в саже, как и фуллерены, образуются при конденсации углеродных фрагментов из газовой фазы, но в отличие от сажи имеют сферическую форму. Г. Крото и Р. Смоли предложили механизм образования сажи, основанный на модели “пентагонального пути”. Эта модель аналогична образованию фуллеренов. Позже Крото и МакКей усовершенствовали эту модель. Новая модель рассматривает рост углеродного объекта, за счёт внедрения пентагональных колец в растущую углеродную сетку. Если эти пятиугольники занимают соответствующие позиции, то образуется система C_{60} (система из 60 атомов) или другие фуллерены. Однако в общем случае замкнутая структура с ростом закручивается по спирали по типу морской раковины. При увеличении размеров эта спиральная структура становится похожей на многогранник. Изучение и наблюдение столь малых объектов вызывает большие трудности, которые заключаются в основном в отсутствии электронных микроскопов с разрешающей способностью менее 0,1 нм. В ряде стран было решено, за счёт

увеличения ускоряющего напряжения, добиться требуемой разрешающей силы электронных микроскопов. С этой целью был создан ряд сверхвысоковольтных электронных микроскопов: в Англии, Японии, США до 1,2 МВ, во Франции до 3 МВ.

Свойства наноструктур

Углеродные нанотрубки, часто имеющие диаметры меньше 10 нм, находятся в диапазоне размеров, где в сильной мере проявляются квантовые эффекты отдельных атомов, определяющие не только необычную симметрию форм, но и такие физические свойства, как электропроводность, магнитные свойства и др. Эти объекты могут, то демонстрировать свойства металла, а то, полупроводников.

Это свидетельствует о том, что из этих объектов можно конструировать, например, наноприборы для нанoeлектроники, нанопроводы для специального технологического и аналитического оборудования и др. Из одного и того же вещества (углеродных нанотрубок) можно собрать нанодиоды по МОП-нанотехнологии, так как нанотрубки могут обладать свойством полупроводника, для контактов использовать нанотрубки обладающие хорошей проводимостью, и всё это разместить на так называемой наноподложке из трубок-изоляторов.

Среди разнообразных исследований последних лет наибольший интерес представляют результаты исследований электронной структуры и транспортных свойств нанобъектов.

Модель Слончевки-Вейса-МакКлюре [5] позволяет вычислить электронно-транспортные свойства графита. Эти вычисления сложны и не всегда дают полного согласия с экспериментом. Однако они показывают, что графит имеет плотность носителей заряда порядка 10^{18} см⁻³, то есть около одного носителя на 10^4 атомов. Это значит, что проводимость очень низкая по сравнению с медью, имеющей один свободный носитель на атом. Одновременно они обладают относительно высокими подвижностями, что сказывается на температурной зависимости электрического сопротивления образ-

цов. Электрические свойства графитовых структур сильно меняются в зависимости от степени кристаллического строения. На рис. 1. показана зависимость сопротивления различных форм углеродных структур от температуры.

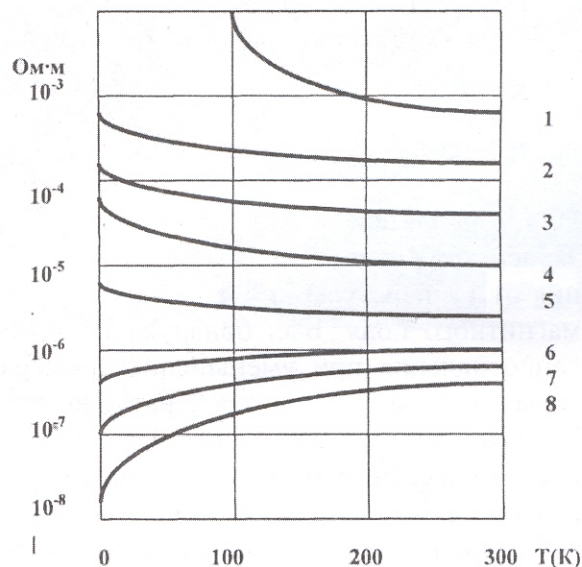


Рис. 1. Зависимость электрического сопротивления от температуры разных форм углерода:

1 – плёнка, полученная методом вакуумного испарения; 2 – стеклообразный углерод; 3 – сажа; 4 – коксовый уголь; 5 – пиролитический углерод; 6 – углеродные вискерсы; 7 – высокоориентированный пирографит; 8 – монокристалл графита

Эти графики свидетельствуют о том, что внутренняя структура атомов углерода изменяется при изменении температуры, а возможно происходят и более глубокие процессы. Если бы атомы состояли из однотипных заряженных шариков (электронов и протонов), ничего бы подобного не происходило при изменении теплового потока между ними и, вряд ли, они могли бы так демонстрировать разнообразие формообразования и свойств. Здесь наблюдается влияние более глубоких процессов на физические свойства нанобъектов.

Углеродные волокна различаются по своим электронным свойствам. Так, высокосоввершенные волокна имеют зависимость сопротивления от температуры, близкую к зависимости для монокристаллического графита, а менее совершенные ближе к разупорядоченному углероду. Так

называемая химическая обработка, то есть образование химического соединения оказывает воздействие на состояние структуры нанобъектов из углерода. При данной обработке, например, кислотами их проводимость возрастает и может превосходить проводимость даже меди.

Исследователи из Католического Университета Лувена в Бельгии были среди первых, кто представил электрические измерения на индивидуальных многослойных нанотрубках. На трубке диаметром ~ 20 нм и длиной ~ 800 нм исследовалась зависимость электрического сопротивления от температуры вплоть до $T \sim 30^\circ$ мК и магнитного поля. Был обнаружен подъём сопротивления при уменьшении температуры по закону $\ln T$ для температур выше 1 К. Ниже температуры $T = \sim 0,001$ мК сопротивление не менялось и составляло постоянным.

На рис. 2 представлен пример замкнутой многослойной нанотрубки.

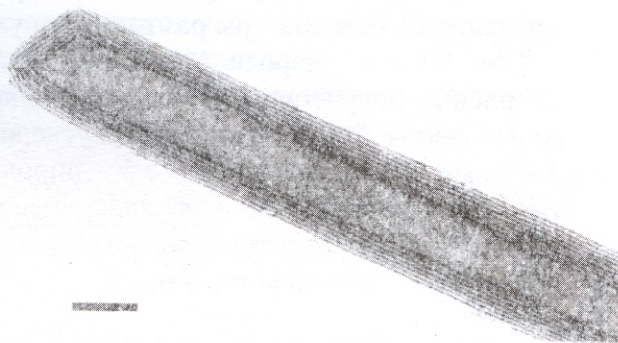


Рис. 2. Замкнутая нанотрубка из дисульфида вольфрама. Масштабная шкала 10 нм

Это свидетельствует о том, что из таких нанобъектов можно конструировать датчики изменения температуры с наноразмерами, которые могут использоваться в ответственных узлах различных диагностических и транспортных средств и микробиологии.

Например, чувствительным элементом (элементами) могут быть нанобъекты с определённой зависимостью электрического сопротивления от температуры, а в качестве электродов – нанобъекты с хорошей проводимостью и отсутствием зависимости электрического сопротивления от температуры. Размещаться такие датчи-

ки могли бы в многослойных капсулах из нанотрубок.

Интересен для практического использования и эффект увеличения электрического сопротивления кристаллическими нанопроводниками, помещёнными в магнитное поле. Это объясняется сопротивлением движению электронов из-за сильной поляризации их магнитных диполей (магнитных моментов) в атомах кристаллической решётки. В разупорядоченных углеродных объектах, помещённых в магнитное поле, электрическое сопротивление уменьшается, так как ориентация магнитных моментов (магнитных диполей электронов) становится неопределённой – деполяризованность. У углеродных волокон наблюдается как повышенная, так и пониженная проводимость, что свидетельствует о степени разупорядоченности осей магнитных моментов.

Значительный интерес представляет поведение нанотрубок в магнитном поле. При направлении магнитного поля вдоль оси нанотрубки с ростом напряжённости магнитного поля трубка с металлическими свойствами сначала становится полупроводящей, а затем снова металлической с периодической зависимостью при увеличении напряжённости магнитного поля (рис. 3). Такое поведение нанотрубок в магнитном поле обычно объясняют с позиций так называемого эффекта Аронова–Бома, согласно которому магнитное поле изменяет граничные условия, определяющие нарезание графеновых энергетических ветвей. Регистрируемая величина напряжённости магнитного поля уменьшается с ростом диаметра нанотрубок. Для трубок диаметром $\sim 0,7$ нм требуется максимальная напряжённость поля до 10500 Тл, а для трубок с диаметром ~ 30 нм – всего 5,9 Тл.

Подобные нанобъекты могут использоваться при создании нанодатчиков для измерения и контроля магнитной напряжённости полей в микросистемной технике и микромеханике. Чувствительным элементом (элементами) могут быть нанобъекты с определённой зависимостью проводимости от напряжённости магнитного поля. В качестве проводников целесообразно использовать нанобъекты

с хорошей проводимостью. Возможно капсулирование этих наноструктур. Капсулами могут быть как фуллерены, так и на-

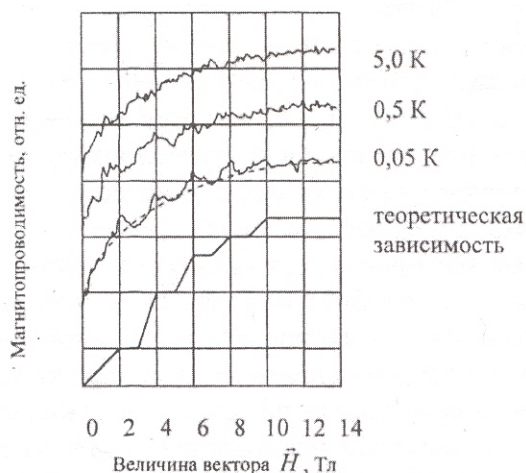


Рис. 3. Зависимость магнитопроводимости углеродных наноструктур от вектора напряженности магнитного поля \vec{H} при низких температурах и теоретическая зависимость квантования энергии поляризации

При определении зонной структуры графита предполагается, что графеновые плоскости бесконечны в двух направлениях, а граничные условия определяются на макроскопическом масштабе. В случае с нанотрубками имеется структура, вытянутая вдоль волоконной оси, но с микроскопической окружностью атомных размеров. Поэтому число разрешенных электронных состояний по окружности весьма ограничено, тогда как в направлении оси оно больше. Так все кресельного типа однослойные нанотрубки обладают металлическими свойствами, что подтверждено экспериментально. “Кресельное” строение подобно структуре (рисунку) креслоплетения из прутьев. Нанотрубки с зигзагообразной структурой оболочки могут обладать как свойствами металла, так и полупроводника. Часть хиральных нанотрубок также обладает свойствами металла, а часть — полупроводника, что связывают с диаметром трубки и хиральным углом. Это вызвано глубинным возбуждением частиц атомов, что и влияет на атомную решетку.

Когда речь заходит об электронных свойствах одномерных проводников, наблюдается возможность пайерлсовского

перехода с замкнутыми концами. Пример такой нанотрубки представлен на рис. 4 [6].

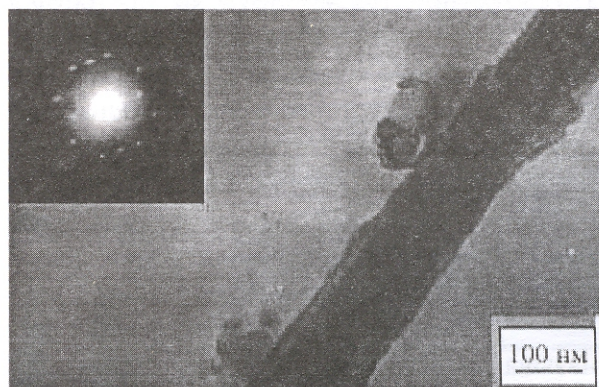


Рис. 4. Многослойные нанотрубки с никелем внутри

перехода, которая впоследствии рассматривалась рядом исследовательских групп. Эффект, предсказанный много лет тому назад Рудольфом Пайерлсом, связан с искажением решетки при низких температурах, которое приводит к расщеплению самой верхней ветви одномерной структуры металла и способствует дальнейшему росту, но уже в виде полупроводниковой структуры.

Очевидно, что из одних и тех же атомов, при деформации их внутренней структуры (перестройке под влиянием внешних факторов) можно формировать нанотрубки с изменяющимися свойствами вдоль оси трубки, то есть осуществлять изготовление целого наноузла электронной схемы.

Электронные свойства многослойных нанотрубок теоретически изучались Риичиро Саито с коллегами и др. [5]. Был обнаружен эффект изменения свойств нанотрубок, происходящий при изменении относительного расположения одной трубки по отношению к другой. Сдвиг одной трубки относительно другой приводит к межслойным взаимодействиям, то есть к взаимодействию между атомами, которые и

превращают металлические нанотрубки, в полупроводниковые. На это превращение опять оказывает взаимное влияние внутреннее возбуждение атомов при смещении атомов относительно друг друга, или на языке математики – определяющим являются граничные условия.

Устройства, в которых используется сдвиг одной трубки относительно другой, могут найти применение для регистрации наносдвиговых деформаций или растяжения деталей в наноузлах микросистемной техники и микромеханики.

Довольно часто наблюдаются так называемые “локтевые” соединения между нанотрубками различных структур. Было показано, что соединение между металлической и полупроводниковой трубками должно представлять собою наномасштабный гетеропереход. Такие переходы могут служить основой для многих типов электронных приборов, например диодов. Однако в настоящее время пока отсутствует контроль, необходимый при производстве подобных переходов. Его надо разрабатывать и это ещё одна из проблем нанотехнологий.

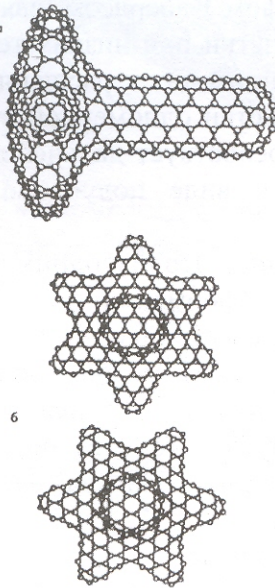


Рис. 5. Модель атомных структур полого нановала с шестернёй (вид сбоку (а) и вид сверху (б)). Углерод

Для исследования, моделирования и изготовления нанообъектов, а также для реализации предлагаемых проектов необходимы соответствующие приборы и уст-

Это свидетельствует о том, что, что из одних и тех же атомов, несколько изменяя их внутреннюю организацию, можно формировать функциональные наноустройства и наноприводы с отличающимися эксплуатационными свойствами.

Однослойные, многослойные нанотрубки и квантовые проволоочки демонстрируют эффект баллистического транспорта (или каналлирования) электронного тока. Он происходит без какого-либо рассеяния электронов на примесях и фононах. Фактически электроны не испытывают никакого сопротивления своему движению, и в нанопроводнике не происходит никакой диссипации энергии. Данный эффект открывает перспективы создания на этой основе сверхбыстродействующих электронных приборов и электромеханических микро- и наноприводов нового поколения, а также электронных инжекторов и катодов для вакуумной наноэлектроники.

На рис. 5 и 6 представлена модель атомных решёток углеродного нанотрубного вала с шестернёй (вид сбоку и сверху) и вид кремниевой наношестерни [7].

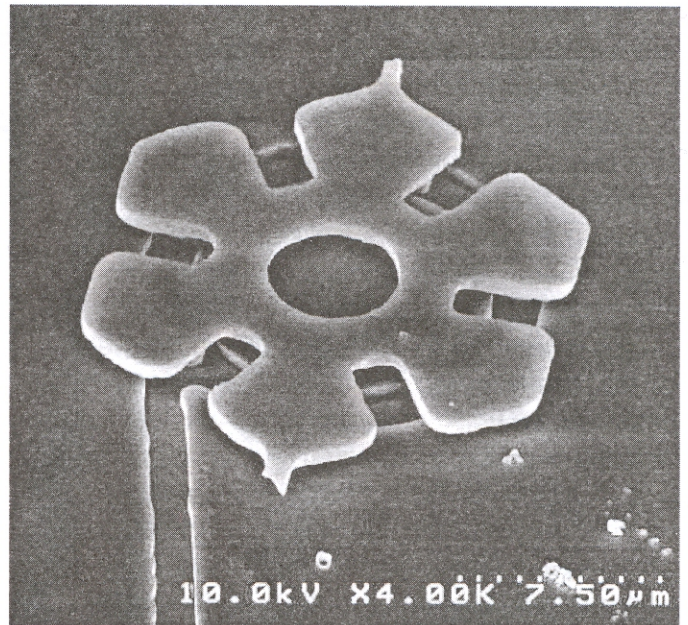


Рис. 6. Наношестерёнка. Кремний

ройства. То есть возникают технические проблемы не только создания нанопроductов и нанотехнологий, но и создания микросистемной техники и микромеханики.

Очевидно, что для их разработки и внедрения необходимо создание принципиально новых наукоёмких высокотехнологичных приборов и устройств, то есть возникает потребность в создании технологического и аналитического оборудования, микро- и наноприводов и функциональных устройств для него [8÷12].

Наноструктуры представляют собой особый вид объектов. Это невидимый невооружённым глазом, даже с помощью самых сильных оптических приборов, объект технологического процесса. Если мы не видим объект, соответственно, невозможно с ним работать. Однако, самые совершенные электронные микроскопы не приспособлены к участию в технологических процессах, так как они являются лабораторными приборами.

Разработчики нанопродуктов и нанотехнологий столкнулись с двумя очень сложными проблемами: наблюдать объекты с разрешающей способностью не менее $0,1 \div 0,01$ нм и манипулировать ими. Если первая проблема в настоящее время частично решена – имеется возможность рассмотреть объект, то к решению второй проблемы ещё не приступали. В качестве примера, можно получить нанощестерню и нановал, но как их объединить в конструктивную пару? Этот вопрос пока остаётся открытым.

Технологические проблемы

Технологические проблемы создания и внедрения нанопродуктов, микро-системной техники и микромеханики неразрывно связаны с рассмотренными выше проблемами. Переход к нанотехнологии это переход от объектов, имеющих размеры единиц миллиметров к оперированию с объектами, имеющими размеры единиц нанометров. На рис. 7 показаны диапазоны размеров, используемых в разных отраслях промышленности.

Основные цели нанотехнологий:

- целенаправленный синтез наноструктур «снизу–вверх» на уровне атомов;
- разработка различных материалов на атомно-молекулярном уровне;
- создание методологии атомно-молекулярного конструирования наноструктур с заданными свойствами;

– создание манипуляторов и микро- и наноприводов с атомным разрешением;

– создание методов диагностики нанообъектов с атомным разрешением и относительной чувствительностью не менее $10^{-9}\%$.

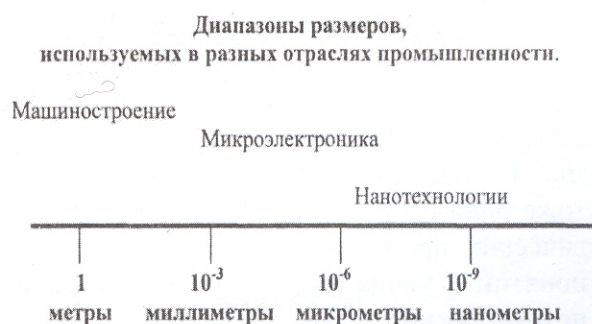


Рис.7. Шкала линейных размеров в практической деятельности человека

Многие из перспективных направлений в материаловедении, наноэлектронике, прикладной химии связывают в последнее время с фуллеренами, нанотрубками и другими похожими структурами, которые можно назвать общим термином “каркасные” структуры.

Использование каркасных наноструктур, позволит получать материалы и устройства с новыми, ещё экспериментально не изученными свойствами [13, 14].

Для реализации достигнутых результатов необходима разработка принципиально нового технологического оборудования, принцип действия которого должен основываться на принципиально новых методах.

В числе перспективных проектов по прогнозам аналитиков это: наноматериалы (на базе нанотрубок), топливные элементы нового типа, солнечные генераторы, биологические наносистемы, наноустройства на основе наноматериалов, наноизмерительная техника, нанообработка, медицинская и промышленная наномеханика и многое другое.

В работе рассмотрены некоторые проблемные вопросы, связанные с внедрением нанообъектов в изделия нанотехники и принципиально новых материалов, которые позволяют приступить к их реализации, то есть к разработке нанотехнологий.

Но приведённые технологии отличаются от рекламируемых сейчас якобы нанотехнологий тем, что они должны в своей основе содержать результаты исследований, которые были рассмотрены выше. Почти все рекламируемые технологии являются либо давно известными, либо несколько усовершенствованными, но к новым нанотехнологиям они имеют косвенное отношение. Маркетологи такой продукции исходят из того, что всё на Земле состоит из атомов, то есть из наночастиц, и значит, относится к нанотехнологиям. Это тоже одна из экономических и терминологических проблем, связанная с подменой понятий и увода средств от истинных нанотехнологий.

Метрологические проблемы

Решение метрологических проблем связано с необходимостью создания новой измерительной техники и методик, стандартизацией, сертификацией, эталонированием и многим другим. Для решения этих задач, прежде всего, необходимо разработать методики приготовления эталонов в нанометровом диапазоне. Использование аппаратных методов в данном случае невозможно из-за малости размеров и не соответствующей требованиям нанотехнологии погрешности существующих измерительных приборов.

В качестве эталонов на ранней стадии их разработки были использованы латексы, многослойные объекты (пакеты плёнок), кристаллические решётки твёрдых тел. Минимальное расстояние между атомными слоями кристаллической решётки было обнаружено в кристалле никеля. Оно составляет 6,2 нм. В настоящее время это минимальный доступный нам линейный размер, который может служить эталоном. Для распространения этого размера на другие нанообъекты, необходимо, чтобы стабильность измерительных устройств была не менее 10^{-6} . Всё вышесказанное требует разработки современных методик измерения, их стандартизации и унификации.

Литература

1. Васичев Б.Н., Некрасов М.И. Российские нанотехнологии и их влияние на экономику. – М.: Научные труды Российского государственного торгово-экономического университета, 2010, том 2. – С. 253-272.
2. Nanotechweb.org: Carbon nanotube switch compatible with mass production // Нано- и микросистемная техника, 2007, №3. – С.76.
3. Шпилевский М.Э., Стельмах В.Ф. Фуллерены и фуллереноподобные структуры – основа перспективных материалов. – М.: ЮНИТИ, 2004.
4. Рыбалко В.В. Наноразмерные углерододержащие материалы. – М.: МИЭМ, 2003. – 50 с.
5. П. Харрис. Мир материалов и технологий. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2003. – 355 с.
6. <http://pro-nano.ru/index.php/2009-01-26-10-50-46/81-2009-02-11-10-27-50>
7. <http://www.nanotechweb.org/articles/news/5/9/1/1>
8. Васичев. Б.Н., Фатьянова Г.И. Конструирование электронно-оптических систем микросистемной электронно-лучевой техники // Поверхность. РАН, 2006, №3.
9. Васин В.А., Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В. Нанотехнологические процессы и оборудование электронной техники. – М.: МИЭМ, 2009. – 264 с.
10. Васичев Б.Н. Электронно-зондовый микроанализ. – М.: Металлургия, 1977.
11. Васичев Б.Н. Электронно-лучевая обработка. Назначение и область применения. Основные явления в зоне действия электронного пучка. Методы. Выбор и расчёт параметров основных элементов оборудования (статья) // Энциклопедия “Технология, оборудование и системы управления в электронном машиностроении”. Т. III – 8. Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2000. – С. 57-79.
12. Васичев. Б.Н., Фатьянова Г.И. Формирование потоков ионов при реактивном ионно-плазменном травлении в технологии микроэлектромеханических систем // Труды инженерно-экономического факультета РЭА им. Г.В. Плеханова. – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2006, вып 5. – С. 603-613.
13. Гаворин А.А., Лебедев С.А. Проблемы развития инновационной инфраструктуры экономики России. – М.: РЭА им. Г.В. Плеханова, 2010. – С. 39-42.
14. Антипов В.А., Колмаков И.Б., Пашенко Ф.Ф. Состояние инновационной и научной системы России и предложения по её развитию // Вестник Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова, 2010, №2 (32). – С. 24-33.