

Нанотехнологии – настояще и перспективи

Г. Високов

*Институт по електрохимия и енергийни системи, БАН, 1113 София
Ел. поща: vissokov@abv.bg*

Постъпила на 25.11.2005 г.

1. Същност на нанотехнологиите

Ако погледнем как се подразделя едно цяло през три порядъка, картината е следната: мили – 10^{-3} , микро – 10^{-6} , нано – 10^{-9} , пико – 10^{-12} , фемто – 10^{-15} , ато – 10^{-18} , цепто – 10^{-21} , и т.н. Следователно, ако някоя част е „нано“ от нещо (дължина, време, маса и др.), това ще рече, че става дума за една милиардна от това нещо. Основната специфика на нанотехнологиите (НТ) е, че те не са аналогични на технологиите, които боравят с материали в големи количества и размери, познати в ежедневието. Материалите от всекидневната ни практика са най-често подредени периодични структури, в които отделните атоми от един и същи вид са поставени при еднакви условия сред съседите си и проявяват по аналогичен начин свойствата си. Те оформят колективно поведение, което ние сме изучили и използваме. С намаляването на размерите влиянието на индивидуалността на всеки атом се проявява все по-силно, за да достигне накрая до доминиращо.

Явно в материалознанието можем да говорим за нано- и най-много за пикотехнологии. Във времезмерването науката успя да отмести границата на миниатюризацията още по-нататък. Вече се използва представката „ато“, с която се обозначава една милиардна част от „нано“ размера. Учените успяха да измерят поне засега най-късия интервал от време – около 100 атосекунди. В лазерната техника се осъществяват импулси с продължителност 250 атосекунди. Времетраенето на електроните на нови по-високи орбити, заети в резултат на внесена външна енергия, вече се измерва с точност до 100 атосекунди, т.е. грешката, с която се измерва импулсът в уравнението на Хайзенберг, става пренебрежимо малка.

Понятието нанотехнология е трудно да се определи точно, тъй като то възникна постепенно в течение на десетилетия като резултат от развитието и сливането на редица научни направления на химията и физиката през ХХ век. Нанотехнологиите може да се дефинират като набор от технологии или методики, базирани на боравенето с отделни атоми или молекули. Нанотехнология е обобщено понятие за опитите на хората да получават и работят с материали и обекти с наноразмери, т.е. НТ е обобщено название за това как хората да манипулират

материя на атомно и молекулно ниво. Може да се каже, че НТ възникна като резултат от усвояването и практическото приложение на фундаменталните постижения на науката, получени през дълъг период от време и едва понастоящем станали основа на новите технологии. Настоящият ХХI век някои изследователи наричат „век на нанонауката и нанотехнологиите“. Това се обуславя от факта, че научно-техническият прогрес и решаването на разностранните проблеми, пред които сме изправени, ще става на атомно, молекулно и ниво на надмолекулярните структури. Създаването и използването на нови материали, устройства и системи на основа на НТ се осъществява чрез управление и контрол на веществата и материята в наноразмерен мащаб. При генерирането чрез НТ на тъй наречените „наноструктури“, с фундаментално нова молекулярна организация, се получават най-малките произведения от човека обекти, които показват качествено нови физични, химични и биологични свойства. Благодарение на постиженията на НТ много от неразрешените понастоящем проблеми на човечеството (борбата с рака и СПИН, космическите пътувания, удължаването на живота и др.) ще станат реалност в обозримо бъдеще [1–12].

„Нано“ идва от гръцката дума за „малко“ и обикновено се използва за означаване на милиардна част от нещо, например една милиардна част от метъра е нанометър, милионна от милиметъра или дължината на 12 водородни атоми, наредени един до друг. Като имаме предвид, че диаметърът на един атом е от порядъка на пикометри (напр. диаметърът на водородния атом е $0.106 \text{ nm} = 106 \text{ pm}$), достигайки атомно ниво на подреждането, може да говорим за пикотехнологии.

НТ боравят с обекти, чиито размери са много малки – от порядъка на милионни части от милиметъра. Нанонауката (НН) и НТ търсят решение на различни проблеми на човечеството през ХХI век на атомно и/или молекулно ниво. Най-общо може да се каже, че всички технологии, които се отнасят до: получаването, изучаването, манипулирането, групирането и използването на материалите и частиците с размери, лежащи в областта до 100–200 nm, попадат в понятието нанотехнологии. Може да се твърди, че НТ са клон от инженерната наука, занимаващ се с дизайн и разработване на миниатюрни електронни устройства и машини [1].

Самият термин НТ е въведен през 1974 г. от Норио Танигучи, професор в Токийския университет. Той използва думата, за да обозначи технологии, които работят прецизно до части от микрометъра. Днес, тридесет години по-късно, такива технологии се използват в най-различни продукти – като се започне от дрехи, мине се през компютри и се достигне до космически кораби [2].

Едно разпространено (но за съжаление погрешно) мнение за НТ е, че тяхната крайна цел е да направи нещата по-малки. Докато микротехнологиите хвърлят много усилия в това да намалят размерите на транзисторите например, нанонауката няма това за основна и единствена задача. Впрочем, говоренето за „НТ изобщо“ също е малко подвеждащо. Нанотехнологичната индустрия всъщност не съществува в смисъла, който се влага в строителната или софтуерната индустрия. Тим Харпър, основател на Европейската асоциация за нанобизнес, обяснява, че НТ е по-скоро разбиране за природните закони на молекулно ниво, от което всеки бранш може да се възползва. Той прави сравнение с електричеството, което е в основата на много продукти на пазара, но по същество представлява познание за това как да се предизвика насочено движение на заредени частици. Точно както компютрите и телекомуникациите ги има в резултат на това, че токът вече е открит, развитието на НН може би ще доведе до създаване на нови индустрии. Дотогава тя ще продължава да бъде използвана за подобряване на съществуващи продукти. Благодарение на нея по-добри (и по-евтини) ще станат и начините за произвеждане на тези продукти, което също е много важно. Разбира се, все още не е ясно кога и как ще се случи всичко това. Според по-консервативните прогнози – най-малко след четвърт век. Консултантската компания от Ню Йорк Lux Research вижда нещата в доста по-съкратени срокове [1].

При работа с наноструктури се използват най-общо два подхода, наречени „отдолу нагоре“ или „отгоре надолу“ [3]. При първия, с който се занимават учените в лабораториите, структури с наноразмери се изграждат атом по атом или молекула по молекула, т.е. събирането на създаваната конструкция се реализира непосредствено от елементи от нисък порядък (атоми, молекули, структурни елементи на биологични клетки и др.). При втория, който по-често се използва комерсиално, вече съществуващи структури се променят по подходящ начин. Той е основан на намаляване на размерите на физическите тела чрез механично или йонно обработване до получаване на обекти с нанометрови параметри. Един от първите, който достигна до идеята за сглобяване на неща от атоми, е нобеловият лауреат Ричард Ф. Фейман. Още през 1959 г. той заяви, че човечеството ще достигне до създаване на машини на молекулно ниво. Според него наличните тогава инструменти би трябвало да бъдат използвани за създаване на техни копия с десетократно умален размер. Те на свой ред трябва да помогнат за направата на още 10 пъти по-малки уреди и т.н. С намаляването на размерите принципите на действие на някои устройства и инструменти трябва да се променят,

но според Фейман в крайна сметка ще се достигне до машини, които могат да работят с атоми и молекули. За съжаление по онова време никой не взема насериозно тази идея. След около 40 години Ерик К. Дрекслер в своята книга „Творящи машини“ (1986 г.) предложи създаването на устройства, които нарече „молекулни машини“ и разкри удивителните възможности, свързани с развитието на НТ. Въображаемите устройства на Дрекслер са доста по-малки от добре известните ни биологични клетки [3].

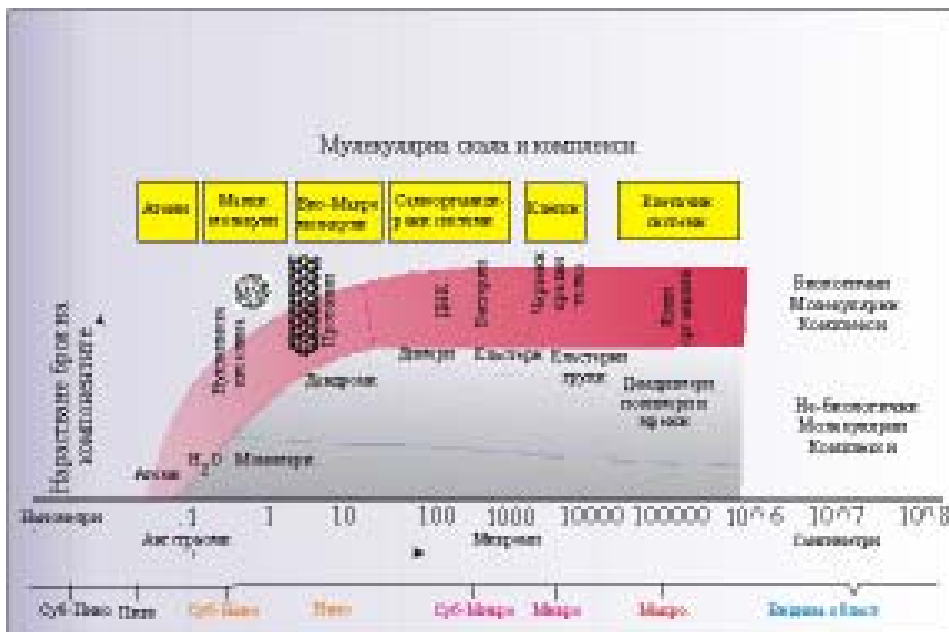
Основната специфика на тези технологии е, че те не са аналогични на технологиите, които боравят с материали в големи количества и размери, познати в ежедневието. Материалите от всекидневната ни практика са най-често подредени периодични структури, в които отделните атоми от един и същи вид са поставени при еднакви условия сред съседите си и проявяват по аналогичен начин свойствата си. Те оформят колективно поведение, което ние сме изучили и използваме. С намаляването на размерите влиянието на индивидуалността на всеки атом се проявява все по-силно, за да достигне накрая до доминиращо. За да разберем по-ясно кои области на техниката, технологиите и човешкото познание се очертават като обект на нанотехнологиите, ще използваме фигура 1 [1].

На нея е дадена скала в нанометри и са показани местата на различни миниатюрни обекти според размерите им. Вижда се, че преобладаващата част от биологичния и генетичния материал, който лежи в основата на микробиологията и генетиката, се намира в областта над 500 nm. Под нея е разположена областта 0.1–100 nm, в която попадат молекулите и кластерните образувания.

Тук квантовият характер на явленията и множеството въздействия, които могат да променят съществено поведението на единичния атом при групирането му с други от еднакъв или различен вид, могат да доведат до създаване на материали със съвсем различни, а понякога и с необичайни свойства. Тази особеност е причина за големия интерес към този нов вид материали и технологии. За да се развият тези технологии и да се създават на тяхна основа нови материали, очевидно ще трябва да се създадат и благоприятни предпоставки за това: развитие на уреди за наблюдение и манипулиране на нанобекти, развитие на познанията за тези обекти, създаване и обучаване на специалисти, запознати с квантовите явления, способни да мислят по начин, съответстващ на новите постижения на науката.

Идеален продукт на НТ би бил онзи, който може да се получи със 100 % възпроизводимост, който е стабилен и който наистина притежава уникални качества. Един такъв пример могат да бъдат фулереновите структури. Тяхното откриване има следната любопитна история.

В университета в Съсекс, Англия, Walton и неговите колеги R. Eastmond и T. R. Jonsen, които работили върху синтеза на въглеродни вериги, през 1976 г. стимулирали изследванията на Kroto върху микровълновото поглъщане в тези вериги. Сравнението на това поглъщане с поглъщането в по-дългите вериги от типа $(\dots -C\equiv C-C\equiv C-C\equiv \dots)$ с резултатите, познати от радиоастрономия-



Фиг. 1. Молекулна скала и комплекси.

та, показали, че аналогично поглъщане има прахът, изпускан от червените гигантски звезди, богати на въглерод. Понеже през 1960 г. е било известно, че въглеродни кластери, имащи до 33 атома, могат да се получат при дъгов разряд, това довело до търсенето на вериги с брой на атомите до 33 и в звездния прах. За целта Kroto обединява усилията си с Robert Curl и Richard Smally за имитиране на звездната химия. Последните разработват апаратура за получаване на въглеродни кластери с помощта на лазерно изпарение на въглерод от графитна мишена [1].

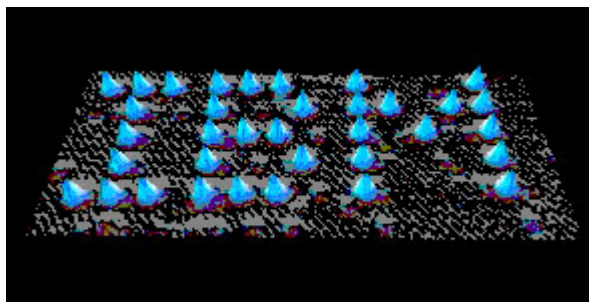
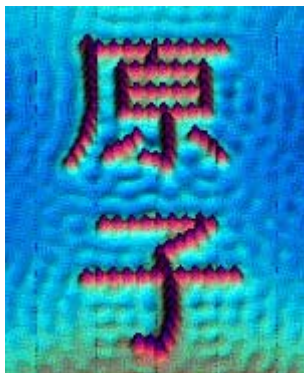
Първите изследвания на кластерите, получени по този метод, показали нещо неочаквано – малките кластери са с нечетен брой атоми: 3, 5, 7 ... 23, а по-големите – само с четен брой. Частиците C_n с $n < 30$ са склонни да реагират с N и H и да образуват вериги от типа HC_nN , докато тези с $n > 30$ са реакционно инертни. За обясняване на тези факти е било предположено, че стабилността на кластера C_{60} се дължи на това, че той има пространствено затворена кълбовидна структура, подобна на американската палата от Експо'67 в Монреал, която е била проектирана от Buckminster Fuller. На негово име е наречена новата молекула. Сега всички видове молекули,

имащи затворена пространствена структура, носят общото име фулерени [4,5].

Тук трябва да споменем и за въглеродните нанотръбички, които са много малки цилиндърчета, или разработването на сканиращия тунелен микроскоп (СТМ). За първи път такъв микроскоп бе разработен в лабораториите на IBM за изследване на нееднородностите на повърхността на силициеви монокристали. Самото преместване на вече захванатите от повърхността атоми е технически възможно и бе демонстрирано от специалистите на IBM с подреждане на железни атоми върху медни кристали и ксенонови атоми върху никелови кристали (фиг. 2) [3].

Особено подходящи за линейни подреждания са краищата на атомните равнини на кристалите. За добавяне или отнемане на атоми от повърхност най-удачно е да се използват молекули, чиито връзки с атома, който трябва да се поставя или маха, са съответно по-слаби или по-силни от връзката на атома с атомите от повърхността.

За да се създаде една структура от повече атоми или набор структури от един и същи вид, е необходимо процесът на подреждане да може да се провежда бързо и



Фиг. 2. Подреждане на железни атоми върху медни кристали (а) и на ксенонови атоми върху никелови кристали (б).

точно. Освен това, за да се създаде материал, имащ практическа стойност, е необходимо броят на подредените атоми в него да бъде огромен. Това отдавна породило идеята за създаване на микророботи, способни да извършват атомни поддредвания, да се самовъзпроизвеждат, когато е необходимо и да работят едновременно. Има много идеи как да изглеждат тези роботи, как да се конструират, за да имат необходимата точност, която да не се влияе от температурата, как да се програмираат и т.н.

Поради изключително малките им размери и изискванията за прецизност, самоизграждането им и най-вече точното им самовъзпроизвеждане са неотменимо изискване към тях.

НТ обхващат широк кръг от приложения в различни области на човешката дейност, както следва: индустрии – машиностроене, авиационна (космонавтика), химическа, металургия (прахова и металокерамика) – специални стомани и сплави; електроника и комуникации; фармация и медицина; околна среда – екология; военно дело и борба срещу тероризма. За тази цел се използват редица наноразмерни материали – прахове (метали, сплави, оксиди, нитриди, карбиди, карбонитриди, борици, катализатори, пигменти и т.н.), нови материали и химикали, конструкционни материали, въглеродни нанотръбички и фулерени, нанокompозити, самоорганизиращи се ансамбли, наноструктурирани катализатори и адсорбенти, филмови покрития (тънки филми) и др. [1–12]. Освен това обект на НТ са наноустройства, наносензори и наноапарати.

НТ ще бъдат стратегическо направление в науката и промишлените производства, тъй като фундаментално ще реструктурират съществуващите класически технологии и ще доведат до получаване на нови продукти (материали, нанокompозити, химикали, наноустройства, наносензори и др.) с широко приложение в различни области: химическа и металургична промишленост, енергетика, машиностроене, електроника и комуникации, авиация и космонавтика, биология и медицина, инженерна екология и опазване на околната среда, отбранителна промишленост, образование и др.

Първата страна, която оцени възможностите на НТ и разработи в тази посока дългосрочна стратегия за развитие, са САЩ. Още през февруари 2000 г. бе обявено за Национална нанотехнологична инициатива, която по своята същност е научно-техническа програма. През 2001 г. правителството на САЩ отдели над \$500 млн. и реализира редица важни практически мероприятия, насочени към всестранно развитие на НТ. Само в Япония обемът на пазара на стоките и услугите в сферата на НТ се очаква да достигне \$270 милиарда към 2010 г. [3].

2. Електроника, микроелектроника, комуникации, наноустройства и сензори

Съвременната полупроводникова техника се основава на методите и технологиите на микроелектрониката. Изключително важно събитие в нейната история бе изобретяването на транзистора през 1947 г., което позволи

бързо да се намали размерът на използваните елементи, примерно до 75 nm. Понастоящем техниката на миниатюризация се разви до такава степен, че позволява да се изработват детайли на схеми с размери около 0.2 nm. Ако тази тенденция на намаляване на размерите се запази, то понастоящем към 2005 г. линейните размери на интегралните схеми са около 100 nm, а към 2011 г. се очаква те да достигнат до 50 nm. Смята се, че с достигане на размери на компонентите от 50 nm ще се изчерпят напълно възможностите на тези технологии [2,3].

В драйвера на твърдия диск се очаква плътността на записа на един квадратен сантиметър към 2010 г. да достигне 1 Terra Bites (10^{12} Bites). Това е и границата, която може да се достигне, тъй като при плътност 1 Terra Bites запис от 1 Bite информация отговаря на разстояние с дължина около 20 nm, която е невъзможно да се реализира в нито една от съществуващите системи за магнитен запис. Работата се състои в това, че при гранична плътност на записа 1 Bite информация може да бъде свързан със състоянието на един магнитен домен на Вайс. При по-малки разстояния записът ще стане неустойчив поради термичните флуктуации. От друга страна, на драйверите на цифровите дискове за многократно използване (DVD, digital videodisk) и на оптичните дискове (ODD, optical digital disk) плътността на записа може да достигне няколко десетки гигабита и повече. Плътността на записа при това се лимитира от дължината на вълната на използваната светлина. НТ позволява да се преодолеят тези сложности поради прехода към атомно ниво на обработване и регулиране на състава на материалите и да се запише например 1 Bite информация на разстояние от порядъка на 1 nm. За това е необходимо да се премине към производство на нови материали с повишени функционални характеристики. Поради това може да се смята, че перспективно за развитието на електрониката е използването на възможностите на НТ.

В таблици 1 и 2 са показани състоянието и прогнозите за развитие на основните характеристики на електронните устройства за масово производство [3].

Още първите експерименти показват, че фулереновите въглеродни структури проявяват редица изключителни качества (както електрични, така и механични). Те имат полупроводникови свойства, могат да бъдат легирани вътрешно и външно, могат да изградят кристали, имат голяма механична якост и химическа устойчивост. В зависимост от легирането материалът от C_{60} може да има свойствата на полупроводник, изолатор, проводник или свръхпроводник [3–5].

Теоретично не съществува ограничение за броя на атомите, които могат да изградят една фулеренова структура. Единственото правило, което определя дали една структура може да съществува, или не, е нейната енергийна стабилност. Ако върху повърхността на една затворена фулеренова структура продължават да попадат по време на растеж въглеродни атоми, то обикновено възникват многослойни структури, познати като луковични. Те наподобяват руските матрьошки, могат да достигнат много големи размери и да се състоят от стотици слоеве.

Таблица 1. Полупроводникови интегрални схеми

Година	2000	2002	2005	2008	2011
Минимален размер на елементите (nm)	200	130	100	70	50

Таблица 2. Магнитни дискове

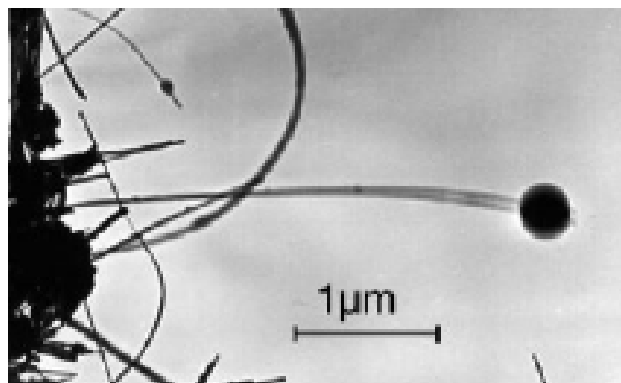
Година	2000	2003	2010
Плътност на записа (Bites cm ⁻²)	2 G	7 G	1 Terra

В тяхната сърцевина понякога се оказват заловени случайно попаднали атоми – както отделни, така и в големи количества. Чужди атоми могат да бъдат затворени и в най-малките еднослойни фулеренови структури. Например в C₆₀ могат да бъдат вградени до 3 атома с по-малък атомен радиус. Тук ще споменем само едно от възможните приложения на фулерените от този тип – това в медицината. Понеже C₆₀ е химически много устойчива молекула, не е канцерогенна и преминава през различните органи, тя се използва като капсула за безопасно пренасяне в организма на отровни или радиоактивни вещества за терапия или диагностика. Например с La@C₆₀ се вкарва La при регистриране с протонен магнитен резонанс, а с Ho@C₆₀ се внася радиоактивен Ho за g-диагностика или за b-терапия.

Графитната равнина освен като сферична може да бъде затворена и като цилиндрична повърхност. Това явление е наблюдавано и описано от японския микроскопист Jijima през 1982 г. Подобно на кълбовидните фулеренови структури, цилиндричните структури, наречени още нанотръбички, също са еднослойни (едностенни) или многослойни (многостенни). Обикновено те са затворени от двете си страни и приличат на пашкули.

Оказва се удобно нанотръбичките да се означават с двойка числа (координати). Те се получават, като за целта графитната равнина, която затваря всяка тръбичка, се наложи в специална координатна система, така че единият ѝ край да лежи в началото на координатната система, а другият се завърта, докато неговите координати станат цели числа. Най-общо, според посоката на шестатомните пръстени спрямо оста на тръбичката, те се делят на armchair, zigzag и chiral [2]. Най-интересни свойства притежават спираловидните тръбички (chiral), чиито свойства (напр. ширината на забранената зона) много силно зависят от диаметъра им и двойката числа, които ги характеризират. Очевидно е, че броят на възможните диаметри е неограничен, откъдето следва, че и броят на тръбичките с различни електронни свойства също е неограничен.

Нанотръбичките са най-здравите нишки, които са познати досега. Те са единствените, които биха издържали, без да се скъсат от собствената си тежест, дори ако можеха да се опънат между Земята и някакъв обект в космоса. Тези нишки вибрират подобно на струна и се огъват под действие на тежест, поставена в краищата



Фиг. 3. Нановезна за мерене на нанобекти.

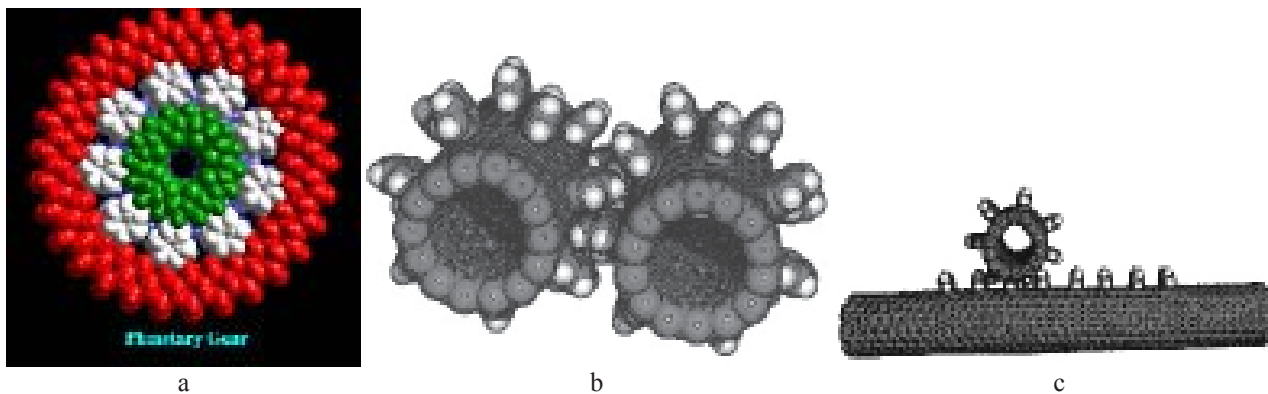
им. Поради това те са най-фината позната досега везна (фиг. 3) [1]. Конструирана е везна, която отчита разлики в теглото до десети от атограма. Така например най-малкото количество, на което реагира конструираната атовезна, е 0.39 атограма, което се равнява приблизително на 104 атома. Тази чувствителност на атовезната е напълно достатъчна за „теглене“ на вируси. В обозримо бъдеще може да очакваме създаването на цептовезна, която да мери теглото на цептограми, т.е. една хилядна от атограма. При тези размери нанотехнологиите изглеждат тромави и гигантски. Явно пред нас са цептотехнологиите.

Както и да бъдат огъвани, нанотръбичките не се чупят, късат или деформират. След премахване на въздействието те възстановяват изцяло формата си. Затова се използват като остриета в атомни микроскопи, като сонди или много тънки писци. Всяка деформация на нанотръбичките води до съответно изменение на свойствата им (например до изменение на ширината на забранената им зона), но то трае само докато е налице въздействието. Това е причината много изследователски колективи (например този в IBM) да симулират различни деформации, за да определят как нанотръбичките могат да се използват за датчици на такива въздействия.

Промяна на реда на подреждане на атомите в нанотръбичката се получава и при промяна на диаметъра на тръбичката, при съединяване на две или повече тръбички, при изкривяване на тръбичката по време на нейното израстване. В зоната, където атомите са нестандартно разположени, се наблюдават необичайни електронни свойства, които могат да се използват и за създаване на електронни елементи – например транзистори и диоди.

Към нанотръбичките могат да бъдат прикачени молекули, така че да се получат образувания, подобни на зъбни колела, червяци, лагери и водещи релси (фиг. 4). Пресмятанията показват, че те биха могли да работят при много големи натоварвания. При зъбните колела скоростта на въртене би могла да достигне примерно до 5×10^{11} оборота в секунда.

След 1980 г. в технологиите за производство на транзистори и лазери все по-често започнаха да се използват изкуствено получени тънки слоеве с дебелина около 10 nm, което позволи да се изработват устройства с нови, повишени технически характеристики. През 1980



Фиг. 4. Наноразмерни: зъбно колело (а), червяк (b) и водеща релса (с).

г. в Япония бе изработен първият полеви транзистор с висока подвижност на носителите (High Electron Mobility Transistor, НЕМТ). През 1981 г. сътрудници на фирмата IBM създадоха сканиращ тунелен микроскоп (СТМ), който позволи да се получи изображение на ниво размера на отделните атоми, което бе изключително важно научно достижение, тъй като изследователите за първи път получиха възможност да наблюдават обекти в нанометровия диапазон, т.е. в атомния мащаб [3].

Изменението на свойствата на една нанотръбичка с диаметър 1.5 nm и дължина 50 nm чрез деформиране е позволило на учените от университета в Делфт, Холандия, да направят най-малкия транзистор. Той може да работи дори само с един електрон и е хиляди пъти по-малък от най-малкия познат досега. Транзистори могат да бъдат направени и чрез кръстосване на нанотръбички с подходящи електронни свойства или по аналогия на полевите транзистори. Развитието на техниките за подреждане на атом по атом върху кристална повърхност и възможността да се контактува с всеки атом поотделно с помощта на нанотръбичка, са предпоставка да се създаде памет с много голям капацитет – 10^{15} Bytes cm^{-2} . Такава памет, с площ около 2 cm^2 , е равна на паметта на един милион компютри с по 1 GB и на нея може да се запише цялата писмена информация, която човечеството притежава. Създаването на такъв тип памет е залегнало в изследователската програма на NASA. Памети с много голям капацитет и бързо действие могат да бъдат създадени и на базата на вградена C_{60} молекула, която прескача от едно положение в друго, както и на залепяне и отлепяне на нанотръбичките една от друга под действие на приложеното напрежение.

Промяна на реда на подреждане на атомите в нанотръбичката се получава и при промяна на диаметъра на тръбичката, при съединяване на две или повече тръбички, при изкривяване на тръбичката по време на нейното израстване. В зоната, където атомите са нестандартно разположени, се наблюдават необичайни електронни свойства, които могат да се използват и за създаване на електронни елементи – например транзистори и диоди.

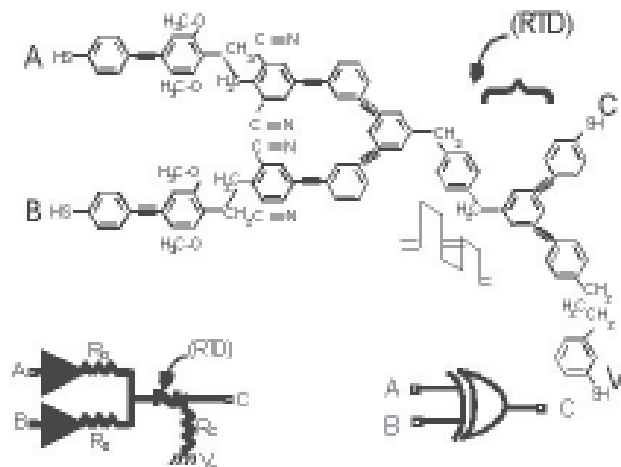
Отдавна вече се работи по проблемите на молекулната електроника, на спинтрониката, на електрониката на базата на квантови ефекти и т.н. Фигура 5 [1] илюстрира

как според различната проводимост на молекулите могат да се създадат някои активни електронни елементи или логически схеми. Със слизането на ниво молекула автоматично се намаляват и размерите на компонентите, отпадат въпросите с литографията и обработката, необходима за получаване на съответен елемент. Това обаче не означава, че при всяко ново предложено решение не се появяват проблеми, които в крайна сметка могат да се окажат непреодолими и да изключат неговото внедряване.

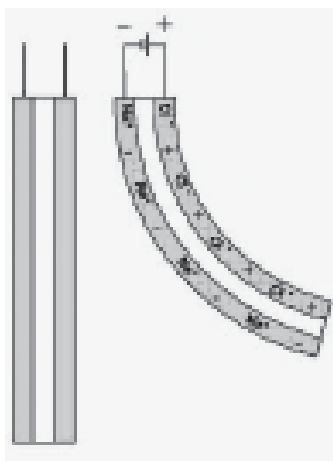
Дигиталната камера Easy Share LS633 на Kodak има по-ярък дисплей, който изразходва по-малко енергия. Дисплеят е направен от специално конструирани и създадени молекули. Подобни OLED (organic light-emitting diode) дисплеи вече експериментално се използват за екрани на телевизори и компютри.

При попадане на електрически заряди върху графитната равнина тя се свива или разтяга в зависимост от знака на зарядите. Същото се отнася и за нанотръбичките, както и за повърхност, покрита с нанотръбички. На този принцип са направени наномеханични уреди (фиг. 6) [1], служещи за електрични и/или светлинни прекъсвачи или комутатори.

За нуждите на наномеханичните системи биха могли да се създадат и нанодвигатели, състоящи се от две нано-



Фиг. 5. Наноразмерни активни електронни елементи и логически схеми на базата на различната проводимост на молекулите.



Фиг. 6. Наномеханичен електричен и/или светлинен прекъсвач или комутатор.

тръбички, въртящи се една в друга при облъчване с подходяща светлина от лазер.

В IBM е разработена технология за получаване на пръстеновидни нанотръбички. Проводимостта им се изменя при наличие на магнитно поле и те могат да се използват като сензори за поле. Особен тип въглеродна структура представляват и въжетата, паралелно израсли еднослойни нанотръбички, както и въжетата, получени от слепване на нанотръбичките една с друга.

Вътрешността на тръбичката може да бъде запълнена с различни материали. Така обвивката (тръбичката) и пълнежът в нея дават възможност за създаване на наноматериали с нови свойства – комбинация от свойствата на двете съставки. Материалът в някои нанотръбички е дори изкристализирал и атомите му са строго подредени.

Нанотръбичките представляват остриета с много малък диаметър. Това позволява от тях да се емитират електрони с голяма плътност на потока при ниски напрежения. Има вече създадени технологии както за подреждане, така и за израстване на нанотръбичките перпендикулярно на дадена повърхност. В момента се разработват плоски телевизионни и компютърни екрани на база на студената емисия от нанотръбички.

Резюмирайки казаното по-горе, кратката хронология на основните достижения на НТ в областта на електрониката, комуникациите, наноустройствата и сензорите е представена в таблица 3.

Възможностите за приложение на наноустройствата в полупроводниковите информационни технологии и при решаване на проблемите на наноизмерванията и нанообработването са представени съответно в таблици 4 и 5 [3].

3. Авиация и космонавтика

Националната космонавтска и космическа администрация (National Aeronautics and Space Administration – NASA) наред с програмите си за космически полети до Венера и Марс планира и космически мисии до Слънцето и Плутон. Необходимо е обаче тези космически кораби да бъдат изработени от такива материали, които да позволят благополучното им завръщане на Земята. За тази цел NASA разработи система, известна като X2000. Всеки 2 до 3 години, начиная от 2000 година, програмата ще разработва и конструира усъвършенствани космически кораби и структурирани материали предимно на основата на нанотехнологиите. Това ще се отрази най-вече върху драстичното намаляване на габаритите на космическите кораби и навигационните системи съгласно системата X2000. На таблица 6 [2] е показано как се намаляват обемът, масата и мощността на космическия кораб Mars Pathfinder в резултат от използването на наноматериали и нанотехнологии, а на таблица 7 [3] са показани възможностите на нанотехнологиите в авиацията, космическата и ракетната техника.

От съществено значение е и олекотяването на класическите и военните самолети – всеки намален килограм от теглото им спестява годишно тонове висококалорично гориво. Огромните потенциални възможности за приложение на нанотръбичките в различни области и включването им в изследователските програми на водещите в технологично отношение световни фирми могат да се илюстрират с рекламата на NASA. Това е звездолет, на който всички основни детайли са направени на базата на нанотръбички.

Таблица 3. Кратка хронология на основните достижения на НТ

Година	Съществено достижение в областта на нанотехнологиите
1928	Предложена е принципната схема на сканиращия оптичен микроскоп
1932	Създаден е първият трансмисионен електронен микроскоп
1959	Р. Ф. Фейман (САЩ) изказва идеята за създаване на вещества и обекти по метода на поединичното атомно изграждане
1975	Теоретично е разгледана възможността за съществуването на тъй наречените квантови линии и квантови точки
1981	Създаване на сканиращия тунелен микроскоп (СТМ)
1985	Създаване на първия полеви транзистор с висока подвижност на носителите (HEMT)
1986	Е. К. Дрекслер (САЩ) изказва концепцията за създаване на „молекулни машини“; създаване на атомно силов микроскоп (АСМ)
1991	В Япония започва реализирането на държавна програма за развитие на техниката чрез манипулиране на атоми и молекули (проект „Атомна технология“); получаване на първите нанотръбички
1998	Изработен е елемент на памет на електронно запомнящо устройство (обем на паметта 128 MBites), работещо при стайна температура
2000	САЩ започват реализирането на изследователска програма „Национална нанотехнологична инициатива“ (ННИ)

Таблица 4. Възможности за приложение на наноустройства в полупроводниковите информационни технологии

Електроника за информационните технологии	Цели и възможности на нанотехнологиите	Икономически и социални последици от внедряване на нанотехнологиите
Полупроводникова техника	Тримерни структури; въглеродни нанотръбички; запомнящи устройства от нов тип (едноелектронна памет и др.)	Съществено намаляване на консумирането на енергия от микропроцесорите (около 1000 пъти); рязко увеличаване обема на паметта на запомнящите устройства (хиляди или стотици хиляди пъти)
Техника за запазване на информацията	Създаване на терабитови запомнящи устройства	Нарастване на работния обем на информационните мрежи, например 1000 пъти към 2010 г.
Биодатчици	Материали, способни на „молекулно разпознаване“; обединени датчици с ДНК чипове; създаване на чипове с набор от гени, белтъци, клетки и различни тъкани; вкарване на датчици в организма; контрол върху състоянието на организма (състав на кръвта, състояние на клетките и др.); лаборатории върху чип (анализ на микроколичества и микрообразци); персонални информационни терминали	По-нататъшно демократизиране на обществото; нарастване на благосъстоянието; опазване на околната среда; развитие на системи за медицинско обслужване и др.; развитие на системи за ранна диагностика и предпазване от заболявания; намаляване на разходите за медицински изследвания; революционни изменения в организацията на здравеопазването и опазването на околната среда; развиване на системи за „лечение в домашни условия“; развиване на системи за социална защита на инвалидите
Устройства от нов тип	Прогрес в информационните технологии	Социални проблеми за създаване на големи информационни мрежи
Устройства за мрежова връзка	Оптично предаване на информация; разработване на устройства за оптична връзка и създаване на модули (към 2005 г.); развитие на фотониката (към 2010 г.)	Съществен прогрес в информационните технологии и в системите за оптична връзка (фотоника, вълноводи и др.); развитие на централизиран и локални мрежи; разработване на системи за достъп до база данни, обмяна на информация и др.; повишаване на скоростта на предаване на данни с електронни и оптични средства от 40 до 160 GBites s ⁻¹
Устройства за мрежова връзка	Радиопредаване на информация; създаване на модули за радиопредаване на информация от вида „предавател-приемник“ до 2005 г.; развитие на техниката на „адаптивните“ антени	Прогрес в информационните технологии, свързани с предаване на информация по радиото (електронни устройства със свръхшироко пропускане); повишаване на скоростта на предаване на информация от 30 до 10 GBites s ⁻¹

Таблица 5. Проблеми на измерванията и нанобработването

Измервания, обработване, моделиране	Очаквани резултати от внедряване на нанотехнологиите	Икономически, социални и технически последици
Развитие на техниката на измерване	Много точни и свръхскоростни измервателни устройства; използване на оптичната техника на вакуумния ултравиолет; получаване на „свръхплоски“ повърхности и подложки; терабитови оптични и магнитни запомнящи устройства	Революционни изменения в социалния живот и икономиката; голям прогрес в развитието на методите за механично микрообработване (намаляване на размерите, повишаване на точността)
Техника на микрообработване	Създаване на нови видове ЕИМ (нанокомпютри, квантови компютри, молекулни и биологични компютри); полупроводникова техника; квантови точки; нови видове лазери; медицина; наносистеми в биологията; информационни терминали от нов вид; системи за мониторинг на околната среда и енергийни инсталации	Революционни изменения в социалния живот и икономиката, медицината и биологията (микрочетри, биологични монитори, ДНК – чипове, биодатчици, изкуствени органи); околна среда и енергетика (мониторинг на средата, микродвигатели, микробатерии и др.); електроника; терабитови запомнящи устройства (нарастване на обема на паметта да 1000 пъти!); едноелектронни устройства; квантови компютри; предаване и обработване на информацията (персонални информационни терминали, квантови компютри, оптоелектронни големи интегрални схеми)
Развитие на методите на точно моделиране	Машинно проектиране на полупроводникова техника (TCAD)	Съществени изменения в структурата на електронната промишленост

4. Химическа промишленост и енергия

Тук приложението на нанотехнологиите е твърде разностранно. Като се започне от получаването на висо-

коактивни наноструктурирани катализатори и се стигне до внасянето на наноразмерни добавки към различните полимери. В областта на хетерогенната катализа се синтезират, активират или регенерират различни катализа-

Таблица 6. Някои технически характеристики на космическия кораб Mars Pathfinder

	Обем (cm ³)	Маса	Мощност	Година на производство
Mars Pathfinder	50 000	80 kg	300 W	
X2000, 1 ^{-во} поколение	10 000	40 kg	150 W	2003
3 ^{-то} поколение	1 000	1 kg	30 W	2010
5 ^{-то} поколение	10	10 g	5 W	2020
Бъдеще	1	2 g	50 mW	2030

Таблица 7. Перспективи за приложение на наноматериалите в авиацията, космическата и ракетната техника

Възможности за приложение на нанотехнологиите	Възможности за практическо приложение на нанотехнологиите	Социални и други последици от внедряването
Авиация, космическа техника	Създаване на свръхлеки, свръхздрави и топлоустойчиви материали	Развитие на нови, по-удобни и сигурни средства в авиотранспорта
Ракетна техника	Нанокompозити	Ракетни материали от нов тип, космически станции

тори (нанесени или масивни) в условията на различни плазмени разряди (електродъгов, ВЧ или СВЧ). В частност интерес представлява и разработването на наноструктурирани катализатори за получаване на водород от водна пара и/или метан. При получаване на наноразмерни катализаторни частици активността на катализаторите се повишава значително, като процесите на парова конверсия на метана (риформинг на природния газ) и конверсията на въглеродния оксид с водна пара протичат с голяма скорост, при което се получава поевтин водород в сравнение със съответните процеси при използване на конвенционалните катализатори. Тези изследвания са приоритетни за Американското химическо дружество, което организира през 2000 г. (Вашингтон), 2003 г. (Ню Орлийнс) и 2004 г. (Анахайм) в рамките на националните си годишни конференции по химия специални международни научни симпозиуми, посветени на плазмените технологии в катализата [6].

Както посочихме по-горе, добре известна е тенденцията, съществуваща в електронната промишленост, за минимизиране на площта и обема, заемани от транзисторите и чиповете като едно средство за значително повишаване на компютърната мощ и производителност на съоръженията. Същата тенденция за миниатюризация съществува и в химическата промишленост и съхранението и трансформацията на енергията, но по други причини. Реализирането на нови свойства, присъщи на НМ, позволява да се постигнат значителни успехи в конверсията на слънчева енергия и нейното съхранение, получаване на нови сензори и контролни прибори за повишаване на технологичните процеси, прилагане на ниско енергийни химични източници и намаляване на отпадъчните токсични вещества, подобряване на енергийната ефективност при осветлението и др.

4.1. Научно-технически прогрес

В химическата и енергийната промишленост познаването и контролът на наноструктурите се очаква да има все по-голямо значение за различни области на развитие на научните изследвания и промишленото приложение.

При енергийните приложения наноструктурните материали с добре дефинирана пореста структура и висока активна повърхност се получават с оглед на потенциалното използване за съхранение на енергия, разделяне на химикали и използване в батерийното производство. Получаваните НМ със значителен капацитет за съхранение на H₂ и CH₄ при малък обем на контейнерите определя ниска цена и бъдещо използване в автомобилите и за създаване и приложение в локални неголеми силови инсталации с висока ефективност и отделяне на малко замърсители в околната среда.

Неотдавна беше установено, че при електрохимична редукция на калаен оксид се формират канали от нанокристални калаени агрегати, които дават възможност за значително увеличаване на капацитета (количеството енергия, поемано за едно зареждане) на литиевите батерии. Освен това е показано, че използването на наноструктурни аноди като LiCoO₂, MnO₂ и V₂O₅ подобрява капацитета, жизнения цикъл и скоростта на зареждане и разтоварване.

На основата на намерената възможност за вметване на алкален метален йон в скелета на метален оксид на преходните метали позволи на фирмата „Сони“ да създаде и започне производство на презареждащи се многократно литиево-йонни батерии. Сравнени с известните никел-кадмиеви (Ni–Cd) и никел-метал хидридни батерии (Ni–MH), литиевите батерии осигуряват три пъти по-висок номинален волтаж и два пъти по-голям капацитет при еднаква маса на активния материал. Структурата на литиевите йони е с много малка маса и е компактна, което ги прави много подходящи за изготвяне на батерийните пакети.

Новост за системите на основа на калаен оксид е възможността чрез електротермична редукция на калаен оксид да се формират непрекъснати канали от нанокристални калаени агрегати, поддържани от аморфни кълстери на неактивните оксидни йони. Наноструктурите, получавани на основата на аморфни калаено-оксидни системи, имат много по-голям обратен капацитет в сравнение с широко прилаганите системи с въглеродни електроди.

В нефтохимичните производства стремежът е да се промотират каталитичните реакции и да се постигне висока селективност на процесите чрез формиране на катализаторите чрез нанотехнологичен синтез на наночастици и техни ансамбли (структури), така че те да могат да благоприятстват определени химически превръщания с повишена енергийна ефективност и висок добив. В този смисъл нови катализатори се получават с изменена стехиометрия, дължаща се на наноразмерните ограничения в едно-, дву- или тримеренното пространство. Вече се синтезират нанокристални керамични и метални материали, които проявяват висока каталитична активност при различни химически процеси.

Редица метали, метални стъкла и интерметални съединения имат свойството обратимо да адсорбират значителни количества от водород при обикновени температури и налягане. Десорбцията на водород се постига при леко повишени температури. Важно свойство на тези хидридни системи е скоростта на абсорбция и десорбция. Създаването на материали с висок капацитет на съхранение на водород за единица обем и маса е обект на множество проучвания през последните 10 години. Магнезият показва добър абсорбиционен капацитет (7.7% H₂ от масата), но скоростта на абсорбция – десорбция е по-бавна от тази на металните хидриди. Проучванията са показали, че както едностенни въглеродни нанотръбички (ВНТ), така и многостенни ВНТ при покритие с алкални елементи показват много висок водороден капацитет на поглъщане (до 20% от масата) при обикновено налягане и умерени температури. Някои сравнителни данни за различните показатели (температура на абсорбция – T_{абс}, налягане на абсорбция (P_{абс}) и H₂ капацитет) и материали са, както следва:

ВНТ – T_{абс} = 298–773 K, P_{абс} – атм. и H₂ капац. = 0.4%;
 ВНТ с Li покритие – T_{абс} = 473–673 K, P_{абс} = 0.1 МПа. и H₂ капац. = 20%;
 ВНТ с K покритие – T_{абс} = 473–673 K, P_{абс} = 0.1 МПа и H₂ капац. = 14%;
 Графит с K покритие – T_{абс} = 473–673 K, P_{абс} = 0.1 МПа 1 и H₂ капац. = 14%;
 Графит – T_{абс} < 313 K, P_{абс} = 0.1 МПа 1 и H₂ капац. = 5%;
 FeTi-H - T_{абс} > 263 K, P_{абс} = 2.5 МПа и H₂ капац. = 2%;
 NiMg-H – T_{абс} > 523 K, P_{абс} = 2.5 МПа и H₂ капац. = 4%.

Типични примери на самоорганизиращи се наноструктурирани материали са зеолитите, въглеродните материали и тънките филми. Алумосиликатите от зеолитен тип са кристални порести наноструктури с размери на порите от 0.4 до 1.5 nm. Зеолитите представляват тримеренна клетъчна структура, състояща се от пресичащи се прави или зигзагообразни канали или от по-проста двумеренна зеолитна ажурна структура. Различните молекули на газовете могат да преминават през зеолита или да се задържат от него в зависимост от сечението на каналите на зеолита и размера на молекулите. Зеолитите откриват нови възможности за приложение като молекулни сита или като

нови молекулни сорбенти, а също така като катализатори или носители на катализатори. Разработените нови зеолити с размери на порите 0.4–10 nm откриват нови възможности за приложение в посочените области.

Перспективна област за развитие на самоорганизиращите се наноструктури е получаването на микропорести, плътни тънки филми, приложими като молекулни сита (мембрани). Те се получават на основата на кристални материали като зеолитите и порестия силициев диоксид. Усилията са насочени към получаването в по-големи мащаби на подобни порести тънки мембрани. Очаква се те да имат бъдещо приложение в батерийното производство, получаването на нови катализатори, горивни елементи, при преобразуването на енергия и др.

Ултра тънки филми, съставени от специални кълстери, позволяват да се генерират нови видове химически сензори. Благодарение на голямата специфична повърхност на наночастиците (НЧ) е възможно да се открива степента на протичане на химическите реакции, селективно и с голяма чувствителност да се улавят пропуски (течове) от химическа апаратура, както и да се получават силни и качествени сигнали. Всичко това осигурява по-голяма безопасност при провеждане на химически процеси, намалява изпусканите отпадъци и загубите от тях и позволява да се провежда по-ефективен непрекъснат контрол на протичането на химико-технологичните реакции.

Тънките филмови покрития са особено ефективни за корозионна и ефективна защита в енергетиката и химическата промишленост. Покриването с тях на тръбопроводите и използваното оборудване води до значителни икономии на разходи и подобряване на технико-икономическите показатели на тези производства.

Самоорганизиращите се наноструктурирани въглеродни материали включват фулерени и техните сродни материали като покритите с метал фулерени, въглеродни нанотръбички (ВНТ), въглеродни наночастици и порест въглерод.

ВНТ имат свойства, които могат да ги определят като полупроводници и проводници в зависимост от диаметъра на тръбичките и някои други техни параметри. Те се използват като проводящи добавки към пластмаси, а също така и в електрохимията. Вече е налице получаването на тези наноматериали в по-големи количества. Те са едностенни нанотръбички и може да се очаква тяхното нарастващо приложение в следващите години.

Добавянето на проводящи въглеродни нанотръбички в конструкционните материали (пластмаси, бетон и др.) позволява непрекъснато и дистанционно да се контролират качеството и свойствата на тези материали. Това от своя страна е предпоставка за нарастване на изпитанията в полупромишлен и промишлен мащаб на приложението на въглеродните нанотръбички и нарастване на тяхното реално производство.

Порестият въглерод представлява потенциална възможност за използване като молекулно сито (сорбент и мембрана) и като филтруваща преграда. Усилията на изследователите са насочени най-много към създаване

на материали с висок капацитет за поглъщане на водород и природен газ за единица маса и единица обем. Така че те биха се превърнали в ефективен източник на гориво и горивни елементи за електрогенератори с по-малка мощност и автомобили с гарантирана много ниска емисия на замърсители на въздуха. Показани са и високият капацитет и селективност на микропорестите кухи въглеродни влакна като водородна мембрана. Това открива тяхното бъдещо производство и приложение.

Според консултантската компания от Ню Йорк Lux Research само след десетилетие НТ вече ще дава годишни приходи \$2.6 трилиона, повече от тези на информационните технологии и телекомуникационния сектор, взети заедно. Според анализаторите през 2014 г. 4% от всички произведени стоки, 50% от електрониката и 16% от лекарствените продукти ще включват НТ.

Lux Research предполага, че развитието на събитията ще протече на три фази. През първата, която свърши през 2004 г., НТ се използват за производството на някои скъпи стоки. Приходите са около \$13 милиарда, \$8.5 от които в самолетостроенето и автомобилостроенето. Втората фаза започва от 2005 и ще продължи до 2009 г. През това време иновации, дошли от нанонауката, ще се появят на масовия пазар. Най-голямата част от тях ще са свързани с електрониката и информационните технологии. По-конкретно нанопроцеси ще се използват при създаването на микропроцесори и памет за компютри. От 2010 г. НТ ще участват в производството на всички масови стоки.

Предсказанията на Lux Research наистина звучат прекалено оптимистично, но не е изключено да се сбъднат. Много големи компании (Motorola, IBM, Sony, Samsung, Intel, General Electric, 3M, Jhonson & Jhonson и др.) са се заели да проучват възможности за използване на НТ.

4.2. Съхранение на енергия – литиеви батерии, въглеродни нанотръбички и горивни елементи

Разработени са горивни елементи (горивни клетки), които използват водород и кислород (въздух) във възстановима система за съхранение на енергия. Те могат да намерят приложение в т. нар. хибридни автомобили и за други цели. Активната двойка източници (водород и кислород) произвежда електроенергия и вода. Създаването на тези елементи се основава на възможността за ефективно съхранение на водорода, наличието на подходящи селективни наноструктурни мембрани и наноструктурен катализатор, който да активира и ускорява процеса на взаимодействие на водорода и кислорода до образуването на вода. Ефективността на горивните елементи се определя в най-голяма степен от качествата и свойствата на използваните наноструктурни мембрани и катализатори.

При литиевите батерии за многократно зареждане се прилагат аноди и катоди от наноразмерни материали. Дифузионните процеси играят важна роля при тези материали на батериите. Поради тази причина електродите, които имат мезонаноструктура, осигуряват висока

скорост на процесите на зареждане и разреждане и стабилизират батериите. В съответствие с това през последните години бяха получени катоди от аерогел на V_2O_5 или наноразмерен $LiCoO_2$, или MnO_2 , които имат подобри свойства от традиционно използваните.

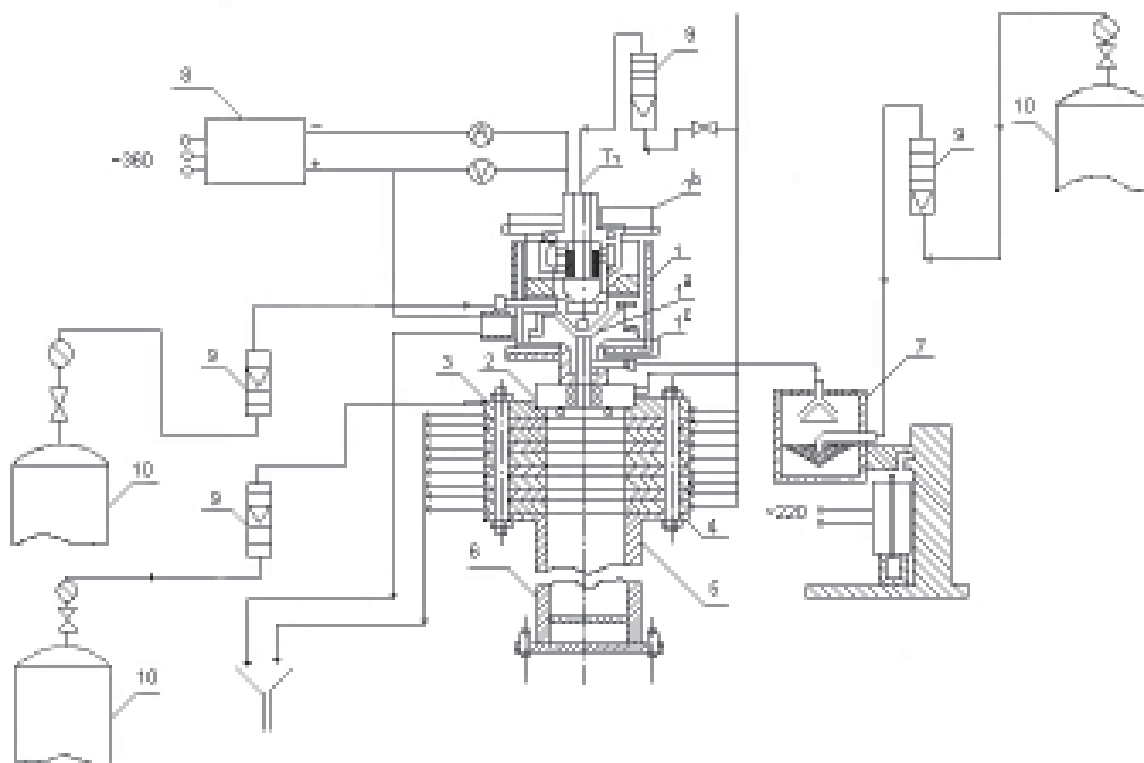
Най-новите изследвания върху ВНТ и литиево-калените сплави показват, че подходяща структура на анода е наноструктурната и това осигурява необходимата скорост на електрохимичните процеси, лимитирани от дифузията.

4.3. Нанокатализатори и нанокатализа

Счита се, че с усвояването на производството и приложението в големи мащаби на катализатори, получавани върху оксидни носители чрез нанасяне на нанодисперсни метали, от една страна, и на наноразмерни кристални зеолитни материали, от друга, с висока активност и селективност е направена революционна крачка в каталитичните процеси и катализаторите. Зеолитните наноразмерни катализатори понастоящем се произвеждат и прилагат при преработването на над седем милиарда барела нефт годишно, както и при получаването на различни химически продукти. Така се оформя един многотонажен много печеливш клон на химическата промишленост с перспективи и за бъдещо развитие. Създадени са редица промишлени процеси, в основата на които лежат уникалните по свойствата си наноразмерни пори и тримерна канална наноструктура на зеолитите. Те проявяват селективност при молекулната дифузия на различните вещества. Така например с помощта на създадения в САЩ зеолитен катализатор H-ZSM-5, който има размер на нанопорите 0.6 nm, притежава възможността да изомеризира ксилените чрез крекинг на постъпващия суровинен поток. Освен това този нанозеолит осигурява висока дифузионна способност (проникване и преминаване) на параксилена, докато другите ксиленови изомери (орто- и метаксилените) се задържат вътре в порите [2].

На основата на тези уникални свойства на зеолитните катализатори е разработена технологията „Парекс“ и лицензионно се прилага в много нефтени рафинерии в света. Сега усилията на учените и инженерно-техническите кадри са насочени към създаването на синтез на зеолити с по-големи размери на порите и на тази основа на нови сорбционни и сепарационни технологии.

В областта на хетерогенния катализ все по-широко приложение намират плазмените методи на синтезиране, активиране или регенериране на различни видове катализатори – нанесени на носител или масивни [6–10]. Използват се различни плазмени разрези – електродъгов, ВЧ или СВЧ. Особен интерес представляват разработените наноструктурирани катализатори за получаване на водород от водна пара и/или метан (природен газ). На фигура 7 е показана принципната схема на инсталация за плазмохимично получаване и/или регенериране на отработени катализатори [6–10]. При използване на наноразмерни катализатори се повишава значително



Фиг. 7. Схема на инсталацията за плазмохимично получаване и/или регенериране на отработени дезактивирани катализатори за нуждите на амониачно производство: 1 – електродъгов постоянен ток плазмотрон; 1^a – катод от торирован волфрам; 1^b – меден водоохлаждан анод; 1^c – пластмасова регулираща шайба; 2 – ПХР; 3 – закаляващо устройство; 4 – водоохлаждани медни секции на закаляващото устройство; 5 – прахоуловителна камера; 6 – филтър; 7 – вибрационно прахоподаващо устройство (при нужда се използва и прахоподаващо устройство вибрационен бутален тип); 8 – токоизправител; 9 – разходомери за плазмообразуващ, прахоносещ и закаляващ газ и H₂O; 10 – бутилки с газ – плазмообразуващ, прахоносещ и за закаляване; T₁ – температура на входящата вода; T₂ – температура на изходящата вода.

тяхната активност и процесите на парова конверсия на метана или така наречения риформинг на природен газ, както и конверсията на въглероден оксид с водна пара протичат с по-висока скорост, отколкото при прилагане на конвенционалните видове катализатори. Това позволява да се намали себестойността на произвеждания водород. Посочените предимства на наноразмерните катализатори и каталитични процеси, провеждани с тях, стимулират нарастващия интерес към плазмените технологии в катализа и приложението на наноструктурираните катализатори в други области на химическата промишленост [6–10].

4.4. Съхранение на водород и горивни елементи

Енергийните системи, базиращи се на водорода, стават все по-атрактивни и интересът към тях непрекъснато нараства. По тази причина и в България през 2003 г. беше създадено „Водородно общество“ за координиране на проучванията в тази област и приложението на водородната енергетика и технология у нас в различни области – енергетика, военно дело, опазване на околната среда и образование.

Един от главните проблеми, който чака решение, е съхранението на водорода и в частност при неговото използване в транспортните средства и при енергийни

източници с по-малка мощност. В тези случаи и особено при транспортните средства се налагат по-строги изисквания към обема и масата на системите за съхранение на водорода, както и към продължителността на съхраняване с водород на съоръженията.

ВНТ, както беше отбелязано по-рано, имат уникални структурни морфологични свойства, които позволяват да се постигне висок масов и обемен капацитет (до 300%) за задържане на водорода като газ и ефективни цикли на неговата адсорбция и десорбция.

ВНТ с отношение дължина към диаметър над 10⁴ са особено подходящи за адсорбция на водорода и практическо съхранение, тъй като кривината на цилиндричните стени на тръбичките повишава свързващата енергия на водородните молекули към повърхностните въглеродни атоми в сравнение с тази на свободната плътна графитна повърхност. Освен това цилиндричните нанотръбички са триангуларно паралелно опаковани на разстояние от 0.34 nm и това позволява допълнително задържане и съхранение на водородни молекули в междинните пространства. При добавки от алкални метали в процеса на формиране на ВНТ водородният капацитет на материала нараства от 4–5 до 14–20 мас.%, както нараства и H₂/C съотношение в нанотръбичките, фулерените или въглеродните влакна. Тези постигнати резултати са много обещаващи. Водят се изследвания за допълнително

повишаване на капацитетните възможности на ВНТ както по отношение на водорода, така и на други газове чрез изменение на диаметъра на тръбичките и налягането на газовете. Стремехът е да се постигнат водороден капацитет и H_2/C отношения до нива, осигуряващи практическо приложение при многократно зареждане за съхранение и отделяне на акумулирания водород (енергия). Това ще гарантира използването на тези наноматериали като горивни водородни елементи за транспортните средства и за относително по-малките стационарни енергийни източници. Голямата разгъната повърхност на нанотръбичките и склонността им да адсорбират и десорбират водород ги прави потенциални акумулатори на водород. В момента такива акумулатори се разработват и ако се постигне капацитет от 7.5 мас.%, ще стане възможна замяната на бензина като гориво за двигателите с вътрешно горене с водород. Това би имало огромен екологичен ефект. Последни съобщения на японски изследователи показват, че в лабораторни условия е достигнат водороден капацитет до 300%, което обаче трудно може да се приеме [3–5].

4.5. Повишаване на енергийната ефективност

НТ имат съществено влияние върху енергийната ефективност и по-специално при магнитните материали. Така например при производството на мотори, подобренията, дължащи се на постоянните магнити в тях, повишават тяхната енергийна ефективност. Наноструктурираните материали значително повишават твърдостта и якостта на металите и сплавите. Това дава възможност да се използват по-леки метали, като алуминий, и значително да се намалят енергийните загуби от триене и износване.

При йонно имплантиране на алуминий и кислород в никел на повърхността се образува наноразмерен Al_2O_3 в никела, което води до рязко увеличаване на механичната якост на основния метал.

Подобна имплантация на кислород превръща алуминия в много здрав и износоустойчив материал, който превъзхожда тези качества на най-добрите лагерни и други известни и традиционно прилагани стомани.

4.6. Заключение

В химическата промишленост и специалните видове енергийни източници, акумулаторите на енергия и в намаляване на енергийните разходи приложението на НТ бележи непрекъснато развитие. В процес на производствено усвояване са редица нови постижения, които ще позволят да се направят нови решителни крачки при приложението на НТ в тези производства. Усилията в това отношение най-общо се отнасят до [2]:

- Усвояване на нови сорбенти на основата на самоподреждащи се наноструктурирани системи;
- Високоселективни и активни катализатори, получавани на основата на нанотехнологии и наноразмерни частици;
- Високоселективни и ефективни сепаратори за разде-

ляне на газови смеси на основата на нови синтетични молекулни сита (мембрани);

- Нови възможности за комбиниране на наноразмерни реактори и наносмесване;
- Нови ефективни наноструктурирани материали за сорбция и съхранение на водород и природен газ със значителен поглъщаем капацитет, малък обем и маса;
- Механично здрави конструкционни материали на основата на използване на наносвързващи материали;
- Покрития с по-висока термична устойчивост, получавана чрез НТ;
- Повишаване на ефективността на технологичните процеси чрез приложение на „бързо действащи“ и „умни“ сензори за тяхното управление и оптимизация;
- Получаване на възстановими обратими батерии с високи експлоатационни качества на базата на наноразмерни катоди и аноди;
- Нови енергийни конвертори, които използват наноразмерни материали с високо събиране и акумулиране на светлинната енергия и висока ефективност;
- Получаване на високоякостни полимерни нановлакна и тръби на тяхна основа.

5. Металургия (прахова и металокерамика) – специални стомани и сплави

Въпросите за теорията и технологията за приложение на НДП за модифициране на стомани и сплави в металургията е разностранно и трябва да се има предвид, че повишаването на изискванията към сигурността и дълготрайността на летите машинни детайли поставя проблема за коренно подобряване на микроструктурата на отливките при понижаване на химичната нееднородност на метала, подобряване формите на фазите и неметалните включвания, понижаване големината на микрозърната и постигане на добра еднородност в големи обеми. Осъществяването на това направление с традиционните методи на модифициране и микролегиране не решава проблема като цяло. Трябва да се посочи, че през последните години се забелязват успехи в областта на получаване на зададени микроструктури на отливки посредством комплексно модифициране на лети сплави с активатори и инхибитори.

Един от тези методи е модифицирането на сплавите с малки добавки от неразтворими частици на труднотопими съединения, които инициират кристализацията [10]. Неразтворимите или малкоразтворимите активатори могат да бъдат внесени в стопилката (т. нар. екзогенни примеси) или получени в стопилката поради химично взаимодействие на компонентите (ендогенни примеси), например при калциевотермичната реакция на редуциране на титан, тантал, ниобий, и цирконий от оксидите им. При това ендогенните активатори, които по природа са неустойчиви в течния метал, са най-активни инициатори на кристализация. Екзогенните активатори са поустойчиви, но имат много по-малка активност, и вкарването им в стопилката е съпроводено с преодоляване на коагулацията, разварянето и окисляването на частиците.

Доколкото активността на частиците като центрове на кристализация се свързва с наличието на активиран слой, осигуряващ растеж на кристалите при малки преохлаждания, за създаване на активиран слой около екзогенната частица е необходимо да се изпълнят следните условия: частицата трябва да има плътност, много близка до тази на стопилката; в активирания преходен слой трябва да се достига голяма разлика на химичните потенциали, която се наблюдава при образуването на химично съединение.

Следователно, необходимо е да се осигурят условия, при които на повърхността между частици и активатори да протича химична реакция с образуване на съединения с плътност, близка до тази на стопилката, и достатъчно устойчиви в условията на процеса. Полученото съединение ще е ендогенно образуване за сметка на захващане на атоми от сплавта и затова може да спомага за активиране на екзогенната труднотопима частица. Действието на модификатора обхваща практически всички излишни фази, които съдържат въглерод, например карбиди (железни и манганови) и високоманганови стомани, карбиди (волфрамови и молибденови) в бързорежещи стомани, графит в ковки и серни чугуни и др. Изпробвано е приложение на НДП за модифициране на деформируеми и леги сплави, в състава на лигатурите за наситняване на модифициращите фази, в състава на заваръчните електроди и на композиционните профилни материали.

Анализът на тези резултати и изводи позволява да се формулират редица изисквания към материалите–компоненти на модифициращите комплекси, чието спазване осигурява най-голям модифициращ ефект: пределно достижимата граница на дисперсността обикновено понастоящем не превишава 10–100 nm, предопределяща получаването в металните стопилки на устойчиви суспензии, равномерно разпределение на частиците в обема на стопилката, висока дифузионна подвижност на частиците и активност спрямо преходния слой; експериментално е показано, че модифицирането с прахове на труднотопими метали (W, Nb, Mo) и с частици на труднотопими съединения, образувани в лигатурата или внесени като прах с размери 5–40 nm и повече, не осигурява равномерно разпределение по обема на стопилката; плътността на труднотопимите частици е близка до плътността на стопилката при температурата на процеса, което осигурява създаването на активиран слой на повърхността на екзогенната частица, повишава устойчивостта на дисперсната система (НДП – метална стопилка) към коагулация и разтваряне; фазовият състав и кристалната структура в идеалния случай точно отговарят на фазовия състав и кристалния строеж на модифицируемата структура, което отстранява енергийните трудности при растежа на новата фаза; химичният състав, предполагащ отсъствие или съвсем малко съдържание на оксиди, съществено влошава механичните свойства на модифицираните сплави, което обуславя необходимостта от решаване на технологични въпроси за отделянето им; състоянието на повърхността на нанодисперсната частица (НДЧ), което определя газонасищането,

оказва съществено влияние върху развитието в стопилката–суспензия на такива негативни процеси, като течностна коалиценция, и довежда до незначително омокряне на частиците от стопилката; изтъква се необходимостта от дегазиране на НДЧ чрез вакуумнотермично обработване, което може да се осъществи в стадия на приготвяне на модифициращата композиция; еднородността на НДЧ по отношение на диаметъра, която предполага липса на повърхност, блокираща частицата с оксидна ципа, обуславяща необходимостта от ефективно пасивиране на НДП вече в стадия на синтеза; високата термоокислителна устойчивост, несвойствена на металоподобните НДП, чиито частици интензивно се окисляват вече при 550–560 K; това изисква такъв състав на композицията, в който непременно да присъства защитаваш НДП от окисление материал – протектор.

По такъв начин направеният анализ позволява да се говори за въвеждане в обръщение на нов клас компоненти на модифициращи композиции – НДП на труднотопими карбиди, нитриди, карбонитриди, получени в частност и по плазмохимичния метод [10], и да се разглежда технологията на заздравяващото модифициране като една от перспективните области на приложение на труднотопимите съединения в нанодисперсно състояние.

6. Консолидирани наноструктури

С постиженията в синтеза и подреждането на градивни „блокчета“ със зададени и строго контролирани размери и химични отнасяния в консолидирани наноструктури и нанокompозити с уникални свойства и функции според специалистите в тази област ще се осъществят революционни промени в промишлените производства. Фундаментални промени в бъдеще се очакват в пътищата и подходите за получаване на нови материали и структури на основата на нано науката и нанотехнологиите.

6.1. Научно-технически прогрес

Основните научно-технически постижения в областта на консолидираните структури, повечето от които са намерили приложение в практиката при производството на наноструктурни материали и продукти с тяхно участие, са, както следва [2,10]:

- Създаване и развитие на уникални наноструктурирани твърди и меки магнитни материали за специални приложения, като например създаване на апаратура за информационните технологии;
- Развитие на биологично шаблонизиране за директно изграждане на наноструктури за приложение в електрониката и биомедицината;
- Разработване на директни методи за получаване на наноструктурирани покрития, притежаващи изключителни химически, термически, електрически и защитни по отношение на околната среда свойства;
- Получаване на слоеви наноструктури с контролирана дебелина на атомно ниво и впоследствие използването им за създаване на магнитно-резисторни нано-

структури и тяхното приложение в устройствата за магнитни записи на всякаква информация;

- Развитие на процеси за моделиране на нанофазова керамика и композити на нейна основа в крайната част, когато се поддържат ултрафини частици и наноразмерни свойства;

- Инженерно оформяне на икономични и ефективни промишлени процеси за производство на нанопрахови и наноструктурирани плътни материали в многотонажни количества;

- Създаване на широка гама композити от рода на напълнените с наночастици или нанотръбички полимери със съвършено нови качества и свойства и инженерно изпълнение, които осигуряват висока якост и силно намаление на горливостта на тези материали;

- Създаване на наноразмерни циментиращи карбидни твърди материали за изработването на инструменти с много висока износоустойчивост и устойчивост на счупване.

6.2. Керамични наночастици

През последните няколко години бяха разработени нови ефективни подходи и процеси за получаване на керамични продукти на основата на керамични наночастици [2,10]. Напредъкът в производството и преработването след това на консолидираните керамични наночастици откри възможност за следващото получаване на крайни керамични изделия на тяхна основа. Наличието на значителни количества наноразмерни керамични прахове с уникални механични и реологични свойства позволява директното формоване на керамични изделия и получаване направо на крайните изделия с всички зададени и точни параметри на оригиналната форма.

Нанофазовата керамика, получавана от консолидиране на керамични наночастици, показва, че нанодисперсният зърнест материал има значителни пластични свойства, което е предпоставка за лесно формоване на малки керамични детайли.

Теоретичното разглеждане на това поведение е развито от гледна точка на моделите на плъзгащите се зърна (частици), при които наночастиците преди тяхната консолидация се плъзгат една спрямо друга под влияние на приложеното формуващо налягане, без да се прекъсват връзките през границите между частиците като резултат на дифузионно зарастване (попълване) на началните цепнатини (атомен транспорт). Това дифузионно настаняване в граничните райони през късите разстояния, включени в наноразмерния материал, позволява да става формуването на нанофазната керамика и нанокompозитите на тяхна основа. Това формуване на керамични продукти е в начална фаза, но тази технология е обещаваща и се очаква да получи по-голямо развитие.

6.3. Получаване на наноструктурирани покрития

Термичното спрейване и нанасяне на наноструктурирани покрития (НСП) открива революционна възмож-

ност за постигане на изключителни механични и физични показатели на формиращите се НСМ [2]. Така например силно нарастват твърдостта, корозионната устойчивост, якостта и жилавостта на материалите. При НЧ броят на атомите в граничните части на частиците става сравним с броя на атомите във вътрешността им. Нараства специфичната гранична повърхност на частиците и количеството примеси, падащи се на единица гранична повърхност на наночастиците, намалява в сравнение с това на едрозърнестия материал със същата масова концентрация на замърсяване. Това пречистване на границите на наночастиците осигурява по-голяма ефективност и постоянност на корозионната морфология и по-голяма междугранична корозионна устойчивост в сравнение с едрозърнестите материали.

НСП с размери на частиците под 100 nm откриват възможност да се постигне значително изменение във физичните и механичните свойства на нанасяните покрития. НЧ на покритията имат присъща термична стабилност и ефективно блокират дислокационното движение, като по този начин позволяват да се повиши до ултрависоки стойности твърдостта им, а също така в определени случаи да се постигне и свръхвисока якост. Освен това НЧ на покритията позволяват да се намали остатъчното натоварване на покритията, което от своя страна води до генериране на плътни слоеве, които са с до четири пъти по-голяма плътност от постиганата с обикновено прилаганите покрития. Така например, понастоящем различни покрития се получават чрез термично спрейване с помощта на високоскоростно кислородно гориво. Такива наноструктурирани спрейвани покрития са: никелови, сплави на никелова основа и неръждаема стомана; $\text{Cr}_3\text{C}/\text{NiCr}$; WC/Co и др. Тези покрития имат по-голяма микротвърдост от 16 до 63% в сравнение с традиционно получаваните покрития. В тези граници повишението зависи от състава на газовата смес и метода на смилане.

IBM вече произвеждат твърди дискове с нанопокритие, което учетворява капацитета на повърхността.

6.4. Намаляване на горливостта на пластмасите

Пластмасите навлязоха и продължават да навлизат бързо в различни технологии и продукти – съдове за бита, детайли на автомобили и самолети, опаковки и много най-различни употребявани стоки. Един съществен недостатък, свързан с разнообразното приложение на пластмасите, е тяхната горливост и възпламеняемост. Това пречатства тяхното още по-голямо и разнообразно приложение в различни области. Големи проблеми създават и отделяните токсични продукти при горенето на пластмасите, както и съпътстващият дим. Значително намаление на запалимостта на пластмасите може да се постигне чрез добавяне на фино дисперсни неорганични/негорими/ НЧ и да се формират консолидирани нанокompозити. Така например скоростта на отделяне на топлина при горенето от термопластмасите и други термоустойчиви материали на основата на полимер

може да се намали с 40–60% при деламинаране или вкарване в масата на нанокomпозитния материал на 2–6 мас. % силикатни материали – най-често глина.

В нанокomпозитните структури на полимери с имплантирани слоеве глина последните играят ролята на изолатори и преграда на масопренасянето и по този начин забавят отделянето на летливите продукти от термичното разлагане на полимера. Това ограничава запалимостта и горливостта на материала. Също така не се наблюдава едновременно влошаване на физико-механичните свойства на композитния материал и се намалява отделянето на въглероден оксид, сажди и токсични компоненти [2].

6.5. Получаване на наноструктурирани твърди материали

През последното десетилетие бяха създадени циментирани карбидни нанокomпозити като волфрамов карбид/кобалт и титанов карбид/желязо, които притежават значително повишена твърдост, износоустойчивост и якост на счупване в сравнение с конвенционалните съответстващи на тях материали със зърнест строеж. Те широко се използват за производството на пробивните режещи части на инструменти (бургии, свредели и др. износващи се части и машинни елементи). Посочените високи качествени показатели на наноструктурираните материали се постигат, когато например съставните фази волфрамов карбид и кобалт се свързват помежду си в тримерното пространство с образуване на така наречената бинепрекъсната наноструктура [2,10].

Нанокomпозитният продукт волфрамов карбид/кобалт се получава чрез механично смесване на прахове от двете фази WC и Co, след което се провежда студено пресоване, последвано от синтеруване. Проблеми създава постигането на еднакво и пълно смесване на фините прахове от WC и Co по механичен начин. То лимитира постигането на размери на частиците на WC в крайния продукт около 300 nm. В последните години беше разработен химичен метод за получаване на хомогенна смес от прахообразни наноразмерни изходни компоненти. Той включва пулверизационно сушене на смес от разтвори на волфрамови и кобалтови соли, след което се провежда термохимична конверсия в кипящ слой на получената хомогенна прекурсорна прахообразна смес. Протичат процеси на пиролиза, редукция и карбидизация, при което прекурсорният прах се превръща в наноразмерен прахообразен продукт – волфрамов карбид/кобалт. В агломерирания прахов продукт волфрамовият карбид е с размери на частиците 30–40 nm. При синтеруването в течна фаза и при малка добавка на инхибитор на растежа на частиците от волфрамов карбид синтеруваният нанокomпозитен продукт се получава без да взема участие в процеса лошокачествен (едра фракция) волфрамов карбид. Този прахообразен продукт се използва за производство на висококачествени бургии за пробиване на отвори в печатни платки и за други специални цели. Получаваните по конвенционалната технология

твърди материали за изготвяне на пробивния износващ се връх на инструмента при еднакво експлоатационно време се износва и трябва да бъде заменен с нов за значително по-кратко време от същия, получен от консолидиран наноструктуриран твърд материал – нанокomпозитен пробиващ (режещ крайник).

Създаването и усвояването на технология за получаване в промишлени мащаби на нанопрахове от металокерамика и керамика позволи да се изследва и разработи метод за термично пулверизационно нанасяне на наноструктурни покрития на конвенционални части от различни съоръжения. Тази технология е внедрена за обработване и нанасяне на наноструктурни покрития на корпусите на кораби. Тяхното изпитване е показало, че тези покрития имат много висока абразивна устойчивост, както и много висока корозионна устойчивост. Това открива възможност за приложение на технологията и покритията за най-различни цели. Особени перспективи за приложение се очертават във военната промишленост за нанасяне на абразиво-, корозионно- и износоустойчиви покрития на военната техника. Този процес е в ход и предстои неговото все по-голямо разпространение [2,10].

6.6. Наноструктури с огромно магнитно съпротивление

Различни наноструктурирани слоеве се използват за създаване на нови устройства с огромно магнитно съпротивление, които се прилагат в апаратите на информационните технологии. Огромното магнитно съпротивление е феномен, който се проявява при наноструктурите, открит през 1998 г. от Ферт и сътрудниците му. Установено е, че редица метални двойки, състоящи се от силни ферромагнити, като Fe, Co и NiFe и слаби ферромагнити или немагнитни буфери като Cr, Cu и Ag, показват магнитосъпротивителен ефект, подобен на мулти-слоевите [2,10].

Установено е, че промяната на пространственото модулиране на наноструктурите с огромно магнитно съпротивление в тримерно измерение води до голямо намаление на необходимото магнитно поле, откри възможността за създаване на разнообразни устройства с огромно магнитно съпротивление на основата на наноструктури. Такива устройства понастоящем се прилагат в апарати, използвани в информационните технологии и по-специално за изработването на магнитни четящи устройства.

6.7. Заключение

Значителен научен и технологичен прогрес е регистриран в последните години в областта на консолидираните наноструктури и обработването на материалите (табл. 8) [3]. В производството са внедрени нови технологии и продукти. Тези постижения са плод на сериозни фундаментални и научно-технологични проучвания. Ползите, които ще бъдат регистрирани в бъдеще от внедряване на консолидираните наноструктури в различни области,

Таблица 8. Възможности на нанотехнологиите при обработването на материалите

Материали и методи за обработване	Очакване ефекти от внедряване на нанотехнологиите	Икономически, технически и социални последиствия
Нанокристали, нанозърна	Повишаване здравината на стоманите; обработване на повърхността с молекулярна точност; получаване на нови материали	Повишаване на здравината, намаляване на теглото, особена направа и външен вид; приложение в медицината (нови противоракови препарати)
Технология за получаване на наноразмерни материали	Създаване на наноелектронни устройства (при използване на фотодиоди и др.); създаване на материали за магнитен запис със свръхвисока плътност	Създаване на базата на наноразмерни материали на светоизлъчващи устройства с минимална консумация на енергия; създаване на материали за магнитен запис със свръхвисока плътност
Техника за обработване на повърхността с нанометрова точност	Създаване на високоефективни оптоелектронни превключватели и устройства за свръхточна механична обработка	Нов етап в развитието на полупроводниковата промишленост
Технология за получаване и отделяне на двумерни кристали	Използване на нанометални кластери в катализа и енергетиката; създаване на на високотемпературна свръхпроводяща керамика, на функционални оптични материали, на свръхлеки и свръхздрави конструкционни материали	Развитие на промишленото производство на нови видове материали
Многослойни композиционни и структурирани материали	Създаване на свръхздрави и корозионноустойчиви метални материали; създаване на магнитни среди за запис със свръхвисока плътност	Прогрес в енергетиката и информационните технологии

се очаква да бъдат още по-големи. За да се постигне това, следва да се включат значителни нови ресурси в по-нататъшното развитие на фундаменталните изследвания, които ще бъдат основа на нови технологични разработки и продукти в областта на консолидираните наноструктури. Натрупаният досега опит в усвояване на тези постижения ще благоприятства техния трансфер в производството и появата на нови ефективни малогабаритни с високи възможности продукти на пазара.

7. Получаване на въглеродни нановлакна със свръхвисокоякостни показатели

Въглеродните нановлакна (ВНВ) със свръхвисокоякостни показатели представляват определени свръхтънки мономолекулни въглеродни влакна с диаметър на всяко по-малък от 100 nm (обикновено няколко десетки нанометра) [3–5]. Те притежават много висок модул на еластичност и пределна (висока) якост на скъсване. Така например влакна с диаметър 50 nm издържат масово натоварване от 2 kg, докато стоманени влакна със същия диаметър поемат натоварване до 200 g. Освен това (ВНВ) значително превъзхождат по всички основни показатели обикновените въглеродни влакна, които също представляват нов материал. Последните вече се произвеждат и прилагат за различни цели в десетки хиляди тона годишно в световен мащаб.

ВНВ имат и други характерни свойства като: съвместимост с живите тъкани, висока електропроводност, висока корозионна устойчивост, постоянни и независещи от температурата механични показатели в интервала от криогенни стойности до около 1000°C. Освен това непрекъснато се откриват нови възможности за повишаване на физикомеханичните показатели на ВНВ. Това открива и нови перспективи за тяхното индустриално производство и приложение.

7.1. Класификация и якостни показатели на въглеродните влакна

Получаването на въглеродни влакна се основава на овъгляването на синтетични или натурални текстилни влакна в отсъствие на въздух (кислород). Практическо приложение сега намират най-много въглеродните влакна, получавани на основата на синтетични вискозни и полиакрилонитрилни влакна (ПАН). Така ПАН въглеродните влакна понастоящем съставляват около 80% от общото производство на въглеродни влакна. Овъгляването на ПАН влакната протича в няколко етапа, които включват: стабилизация във въздушна атмосфера при 200–300°C; карбонизация в инертна азотна среда при 1200–1400°C; високотемпературно третиране във вакуум или в инертна среда при 2000–3000°C [2,10].

Пековите въглеродни влакна се получават от нефтени или каменноуглени пекове, като първоначално се получават влакна директно от сгъстената пекова маса чрез изтегляне през филтри. След това получените влакна се подлагат на термично третиране, подобно на това, прилагано при получаването на ПАН въглеродните влакна. ПАН и пековите въглеродни влакна имат диаметър от порядък, равен на изходното текстилно влакно и в рамките на няколко (3–5) mm. Свойствата на ПАН въглеродните влакна зависят най-много от условията на овъгляване, а тези на пековите въглеродни влакна освен от условията на термообработване зависят в голяма степен и от свойствата на изходния пек. В зависимост от вида на използвания пек могат да се получават изотропни или анизотропни влакна, т.нар. мезофазни влакна. Тези два вида влакна имат свойства, които съществено се различават.

Има и трети вид въглеродни влакна – т. нар. газови влакна. Те се получават чрез пиролиза на въглеродсъдържащи газове като етилен, метан, ацетилен, въглероден оксид и др. в присъствие на метален катализатор, обикно-

вено метално желязо, при температури 500–1500°C. Получаваните влакна допълнително се подлагат на високо-температурно третиране във вакуум или инертна среда при 2000–3000°C. Газовите въглеродни влакна не могат да се получават с безкрайна дължина. Това е едно от съществените отличия от ПАН и пековите въглеродни влакна. Свойствата и дължината на пековите влакна зависят от условията на тяхното израстване (изтегляне). Дължината им варира от няколко микрона до няколко десетки сантиметри. Непрекъснато текстилно влакно от тях засега не е възможно да се получава. Получават се само т. нар. щапелни въглеродни влакна. Това в голяма степен ограничава и тяхното приложение за различни цели. Най-голямото предимство на газовите въглеродни влакна е фактът, че техният диаметър може да бъде много малък и това не се ограничава от дебелината на изходното полимерно влакно, както е при ПАН и пековите въглеродни влакна, а от теоретично минималната дебелина на въглеродните мономолекулни нанотръбички – около 0.7 nm.

По основните си механични показатели – якост на разкъсване, модул на надлъжна пъргавина и пределна деформация, въглеродните влакна се делят на: високоякостни с якост на разкъсване > 3 GPa и свръхвисокоякостни с якост на разкъсване > 4.5 GPa; нискомолекулни с модул на надлъжна пъргавина < 10 GPa, средномодулни съответно с модул 200–300 GPa, високомодулни с модул > 350 GPa и ултрависокомодулни с модул > 450 GPa. В последните години във връзка с приложение на въглеродните влакна в космическите апарати и техника беше въведен още един показател – пределна деформация на влакната (%), и тяхното по-общо деление на влакна с общо предназначение и влакна с особени качества. Нановлакната се отнасят едновременно към свръхвисокоякостните и ултрависокомодулните. ВНВ имат якост на разкъсване до 12–30 GPa и могат да се отнесат към нова степен на якост – ултрависокоякостни влакна.

7.2. Строеж на въглеродните влакна

Мезофазните пекови влакна се състоят от прави графитови ленти, разположени по дължина на оста на влакното. ПАН влакната имат по-сложен строеж и се състоят от множество тръбни елементи, съединени в тримерна структура [2,10]. Газовите влакна се състоят от множество вложени една в друга тръбички с празна сърцевина. Нановлакната имат тръбен строеж подобно на микронните газови влакна. Разликата е както в мащаба, така и в това, че съставните тръбички представляват мономолекулни образувания. С намаляване на диаметъра на газовите влакна се констатира повишаване на механичните им качества. Тази тенденция е толкова по-изразена, колкото се доближава праговия преход на диаметъра от 1 μm , който определя прехода от обикновени към нановлакна.

7.3. Методи за получаване на ВНВ

Методите за получаване на ВНВ в основата си са подобни на тези за получаване на нормалните газови

влакна. Най-често смес от въглерод-съдържащ газ – метан, ацетилен, етилен, въглероден оксид, пари на етилов спирт или бензол и водород, постъпва за разлагане при 500–1500°C в присъствие на метален катализатор. Основен компонент в катализатора е желязото. Съществен принос при разработване на тези методи имат японските учени [3].

Възможно е процесът на формирането на газовите влакна да става по два начина – на подложка или директно в потока газ. Последният предполага добавяне на летливи съединения на желязото като железен пентакарбонил $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ или фeroцен $[\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2]$ към въглерод-съдържащия газ. Използва се и друг начин за вкарване на катализатора в реакционната зона, а именно впръскване на фина суспензия от прахообразно желязо в органичен разтворител директно в реактора. И в двата случая частица от катализатора се захваща от растящото влакно, така че всяко влакно в края на процеса завършва със своеобразна „шапка“, представляваща метален микрокристал.

Методът за формиране на влакната на подложка изисква нанасяне на катализатора на керамична или графитова подложка. За нанасяне на катализатора на подложката най-напред се полага фина суспензия от железен прах в органичен разтворител. След това чрез нагриване и изпарение органичният разтворител се отделя. Прилага се нанасяне на катализатора и чрез разпръскване върху подложката на разтвор от железни съединения като фeroцен, нитрати и др. и последващо редуциционно термохимично третиране при подаване на водород, при което се образува елементно метално желязо. Съществува и трета възможност, при която директно в реактора се подават металоорганични съединения, а в него е разположена подложката, на която се отлагат образуващите се фини железни частици.

Методът за формиране на ВНВ върху подложка има едно съществено предимство. То се свежда до това, че е възможно образуването (израстването) на по-дълги влакна, например до няколко десетки сантиметра, докато при формиране в газов поток дължината на влакната не превишава няколко милиметра. Но той има този съществен недостатък, че процесът не е непрекъснат [2,10].

Получаването на възможно по-дълги ВНВ се постига с подбора на температурния режим и използване на устойчив катализатор. При такива условия се избягва увеличение на диаметъра на нановлакната и превръщането им в микронни (обикновени) влакна и се постига по-продължителен период на растеж на влакната, което води до увеличаване на тяхната дължина. Установено е, че растежът на влакната по дебелина (диаметър) и дължина не протича с еднаква скорост. Растежът по дължина изисква по-ниска температура. При повишаване на температурата и намаляване на активността на металния катализатор получаваните влакна започват да нарастват по диаметър и могат да преминат от нановлакна в нормални микронни газови влакна.

На дебелината и дължината на нановлакната, както и на скоростта на процесите, влияние оказват и размерите

на катализаторните частици. За ефективно формиране на нановлакна катализаторните частици трябва да са до 20 nm в диаметър. При катализаторни частици 10–20 nm средната скорост на нарастване на диаметъра е $1\text{--}2\text{ nm min}^{-1}$, а скоростта на линейно нарастване е около 1 mm min^{-1} .

Чистотата на газа също оказва влияние върху активността и ефективността на катализатора. Това налага почистване на газа от някои примеси като например водните пари, особено ако като газ носител не се използва водород, а газ, получен при парова конверсия на метан, какъвто се получава за целите на синтеза на амониак. Наличието в газа на няколко десетки ppm водни пари намалява добива на въглеродни влакна и тяхната дължина. Съставът на газа може да влияе не само на дебелината и дължината на нановлакната, но и на тяхната структура (получаване на влакна с различна от тръбната структура). Така например установено е, че при добавка на малки количества фосфор при пиролиза на ацетилен се формират въглеродни нановлакна, подобни на микроскопични пружинки. Тези нановлакна нямат висока якост, но имат еластичност, която е съизмерима с тази на каучука.

7.4. Промислено приложение на ВНВ

Направленията за приложение на свръхякоостните ВНВ са по принцип същите, в които са внедрени обикновените въглеродни високоякоостни влакна. Очертана е тенденция за частично заместване на ПАН въглеродните влакна с нановлакна най-вече в областите на приложение, където съществуват по-строги изисквания за висока якост и са свързани с безопасността на съоръженията. Към тях се отнасят производството на здрави въглеродни композити за строителството, спортните уреди и авиокосмическата промишленост. При строителството в сеизмично опасни райони и в райони с вечно замръзване свръхвисокоякоостните нановлакна се прилагат като корозионно устойчиво засилващо здравината обмотаване на опорите на мостове, транспортни естакади, високи здания и други строителни съоръжения. Посредством такова укрепващо обмотаване се намалява десетократно риска от разрушаване в резултат на огъващи и преместващи натоварвания на строителните конструкции. Поради тези възможности Япония е приела специална програма, в която се предвижда укрепване опорите на всички мостове и транспортни естакади със свръхвисокоякоостни ВНВ в рамките на тяхната реконструкция и модернизация.

Технологичните възможности и високите механични показатели на въглеродните влакнести материали откриват нови широки възможности за приложение при усиляването, модернизацията и ремонта на строителни конструкции и съоръжения от бетон, железобетон, дърво и камък. За тази цел те могат да се прилагат в промишлени здания, бункери, силози, охладителни градини, резервоари, подпорни стени, мостове, тръби, тунели, хидравлични и пристанищни съоръжения, нефтени платформи и други. За най-отговорните обекти с голям риск

и опасност следва да се използват свръхвисокоякоостните въглеродни нановлакнести материали.

ВНВ имат освен висока якост и други характерни свойства, които ги отличават от обикновените въглеродни влакна. Благодарение на тях те намират приложение и в други важни области като изготвянето на въглерод-литиеви батерии за компютри, стартови кондензатори за електрониката, биоматериали, клетъчни телефони, електропроводни полимерни композити и др.

Понастоящем производството на ВНВ е усвоено само от две японски фирми: „Сева Денко“ и „Мицубиши“ в обем около 10.5 t годишно за нуждите на строителството в сеизмично опасни райони, производството на клетъчни телефони (около 30 млн. броя годишно), стартови кондензатори за електрониката, електропроводни тефлоновъглеродни ленти и въглерод-литиеви батерии.

Производството на всички видове въглеродни влакна в последните двадесет години нараства средно с 5% годишно и през 2001 г. достигна количество от 10 700 t. Както се вижда, делът на ВНВ засега е много малък и основната причина за това е високата им цена. Тя е съизмерима с цената на ПАН въглеродните влакна с високо качество и възлиза на \$1000–5000 за 1 kg. Тя е значително по-висока от конкуриращите се с тях материали като високоякоостни полимерни влакна от така наречения армиден клас и високоякоостния полиетилен и въобще несравнимо по-висока с цената на текстилните стъкло-влакна, чийто обем на производство през 2001 г. е възлязъл на около 1 млн. тона. В стойностно изражение производствата на стъкло-влакна и на въглеродни влакна са приблизително еднакви. Изследователите и фирмите производители прогнозираят в бъдеще по-нататъшно нарастване на относителния дял на производството и приложението на свръхякоостните въглеродни влакна на основата на усъвършенстване на тяхната технология на производство и рязко намаляване на цената им до около \$40–50 за 1 kg, каквато е понастоящем цената на обикновените с общо предназначение влакна [2, 10].

7.5. Заключение

ВНВ представляват нов свръхвисокоякоостен материал с диаметър от няколко десетки нанометра, притежаващи необикновено висок модул на еластичност и много висока якост на скъсване. По тези и други показатели като електропроводност, корозионна устойчивост и постоянност на механичните свойства в широк температурен интервал, съвместимост с живи тъкани и други, те значително превъзхождат обикновените въглеродни влакна. Изследванията очертават нови възможности за повишаване на уникалните физикомеханични показатели на ВНВ, усъвършенстване на технологиите за тяхното получаване и намаляване на разходите при получаването им, а това ще позволи разширяването на тяхното индустриално производство и приложение в различни области.

Методите за получаване на ВНВ са подобни на тези за получаване на обикновени газови влакна. Използват

се метални железни катализатори. Формирането на въглеродните влакна става по два метода – на керамична или графитова подложка и директно в газовия поток. Получаването на по-дълги влакна се постига при формирането им върху подложка, но засега не е постигнато непрекъснато провеждане на процеса. Водят се непрекъснати и интензивни изследвания за решаване на този проблем.

Получаването на възможно по-дълги ВНВ може да се постигне на основата на управление на температурния режим и използването на нови по-ефективни, устойчиви и активни катализатори. Каталитичният процес е силно чувствителен за наличието на редица примесни компоненти, което налага по-пълно изясняване на тяхното вредно въздействие и разработване на ефективни методи за почистване на газа носител. Съставът на газа влияе както на дебелината и дължината на влакната, така и на тяхната структура, а отгук и на свойствата им.

Очертава се тенденция за частично заместване на ПАН въглеродните влакна с нановлакна и разширяване на тяхното приложение в нови области, най-вече където има по-високи изисквания за якост, безопасност и надеждност на изгражданите съоръжения и апарати – строителството, авиокосмическата промишленост, нефтодобива, електрониката, информационните технологии, електрохимическата промишленост, биоматериалите и други.

Очакваният научно-технически прогрес в следващите години в технологиите и научно-техническите показатели дават основание да се прогнозира по-нататъшно развитие и нарастване на производството и приложението на въглеродните нановлакна [2–5,10].

8. Нанопроцеси и наноматериали в опазване на околната среда

НТ имат огромен потенциал за въздействие на генерирането и решаването на важни проблеми на околната среда чрез оценката и контрола на различни емисии от множество източници на замърсители. Освен това те са свързани и със създаването на нови така наречени „зелени“ технологии, с които силно се редуцират отделяните отпадъци, възстановяват се замърсените водни източници и се постига почистване на неорганизираните депа за отпадъци.

В природните системи, където протичат и се изучават интердисциплинарни процеси на молекулно наноразмерно ниво, от съществено значение е оценката на последствията от образуването и пренасянето на замърсителите в околната среда. Необходимо е провеждане на изследвания в стиковите области между неорганичните и органичните структури с акцент на характерните процеси, протичащи в наноразмерни условия.

Наноматериалите от своя страна са потенциален причинител и източник на професионален и здравен риск както от съществуващите източници като например дизеловите двигатели, така и от новите технологии и системи, използвани при производството на наноразмерни материали. Тези нови технологии често сами са източник

на опасности за околната среда и този проблем изисква специално проучване и оценка на риска [2].

8.1. Научно-технически прогрес

Наноразмерните материали се срещат в атмосферата, водите и световния океан, а също така и в биологичните системи. Наноразмерни аерозолни частици непрекъснато се изпускат в атмосферата при провеждането на редица химични процеси, а също така при добива и обработването на някои минерални природни суровини. Рискът от такива наноразмерни частици за човешкото здраве не е напълно изучен и оценен. В дадени случаи, като например при отделяне на силициев диоксид и азбестови влакна, потенциалният риск за здравето и опасностите от заболявания са напълно установени и нормативно е регулирано в различните страни тяхното предотвратяване. В други случаи той или не е изучен, или се счита, че е по-малък от понастоящем установения здравен риск.

В последните години трудностите по оценка на влиянието на НЧ върху биологичните системи бяха решени с разработването и въвеждането на инструментални методи и апаратура за мониторинг на присъствието на фини частици в атмосферата и оценка на тяхното въздействие на околната среда. Създадените сензори и уникални апарати позволяват точно да се определя въздействието на НЧ върху околната среда, здравето на хората и другите живи организми. В някои от апаратите се създава възможност за нарастване на най-фините по размери частици до по-големи откриваеми размери чрез кондензация на пари върху тях. Тези апарати са наречени „кондензационен брояч на частици“. Такива апарати са в състояние да откриват частици в атмосферния въздух с размери до 3 nm. Други нови апарати позволяват да се получава информация за природата на НЧ. Това са така наречените апарати за диференциален мобилен анализ. В тях наноразмерните частици се натоварват с положителен или отрицателен заряд, придвижват се в несъдържащ частици газов поток под въздействието на приложено електрично поле и се утаяват като монодисперсен аерозол. В последните години апаратите продължават да се усъвършенстват и времето за извършване на посочените анализи е съкратено от около 10 min до части от минутата. Освен това поради нарастващия интерес и развитие на нанотехнологиите възможностите и чувствителността на тези апарати бяха разширени до откриване и определяне на наноразмерни частици с диаметър 1 nm и още по-малък [2,10].

Комплексът от химични и физични процеси с наноразмерни структури е базов за феномените, които водят до освобождаване, подвижност, секвестриране и участие в биологично усвояване на различните видове замърсители и хранителни вещества в природната среда. Процесите, протичащи в стиковите области между природните физични и биологични системи, имат пряко отношение към здравето на живите организми и човека и биокомплексните резултати за тях. Разширяването на познанието за нанопроцесите и тяхната динамика и специфични

особености, както и за наноструктурите в природните екосистеми, ще води и до по-пълно разбиране и осмисляне на транспортните процеси и тези на усвояване на различните вещества от биосистемите. Освен това то ще води до по-нататъшно развитие на НТ, с които ще може да се предпазва околната среда от увреждане и силно редуцират опасностите и риска за протичане на нежелателни необратими процеси, водещи до изчезване на растителни и животински видове и заплашващи самото съществуване на човека.

Редица НТ вече се прилагат за решаване на екологичните проблеми и опазване на околната среда. По конкретно те се прилагат за: ликвидирани и обезвреждане на редица отпадъци; редуциране на отделните отпадъци и подобряване на енергийната ефективност; конверсия на енергията; получаване на ефективни композитни структури и материали с приложение при опазване на околната среда и др. Наноструктурните материали имат все по-голяма роля при обезвреждане, преработване и оползотворяване на различни отпадъци, генерирани в промишлената дейност. Например наноразмерни частици от титанов диоксид се прилагат за почистване чрез окисление на различни органични замърсители. Наноматериали се прилагат за улавяне и почистване на тежки метали в отпадъчни води и ликвидирани на стари замърсявания в промишлени и други площадки. В други случаи илюминирани наночастици се прилагат за окисляване на замърсители в разтвор или в аерозоли. Най-новите изследвания доказват, че наночастици от TiO_2 , облъчени с ултравиолетова светлина, могат да се прилагат за почистване на редица опасни атмосферни замърсители като органични съединения, вируси, клетки и др. НРМ с подходящи повърхностни свойства могат да се използват за отделяне или свързване на тежки метали от замърсени с тях повърхности.

След около десетгодишни изследвания по разработване и приложение на мезопорестия материал МСМ-41 с размер на порите в границите от 10 до 100 nm, той вече намира реализация за почистване и ликвидирани на отпадъци от тежки метали в ядрените електроцентрали. Приложението на този НМ позволява не само да се отделят специфични тежки метали от генерираните отпадъци, но и да се намалят значително разходите при използване на този нов метод.

Наноструктурираните системи откриват потенциална възможност за създаване и приложение на възстановими енергийни устройства с много по-малко генериране и отделяне на отпадъци. Това се постига чрез разработване и внедряване на батерии или клетки с наноразмерни или мезоразмерни електроди за съхраняване на енергия за транспортните средства. При тяхното използване се постига огромно редуциране на отрицателното въздействие на емисиите от транспорта на околната среда. Използването на традиционните горива за транспортните средства или на тяхната енергия, индиректно трансформирана като електрическа, е причина за много голямо увреждане и недопустимо въздействие на природната среда [2,3,10].

Приложението на нови композитни материали за опазване на околната среда е свързано с възможността за вкарване на наноразмерни добавки в композитите. Това открива пътища за получаване на материали с подобри свойства и специфично приложение като филтриращи системи и средства. Новите материали имат по-голяма устойчивост в околната среда, по-ниска цена и общи разходи при тяхното приложение и силно намалено въздействие на природната среда. Те имат по-малка маса, по-малки структури и по-малки енергийни разходи при тяхното експлоатиране. Вграждането на НМ в композитите може да обхване от използването на оксиди или нитриди в стоманите до създаването на напълно завършени хетерогенни нови композитни материали.

Интерес представлява разработването на феромагнитни нанопрахове, които са хидрофобни, по-силно адсорбират нефт и нефтени продукти и могат ефективно да се използват при пречистване на петролни и нефтени разливи от аварирани танкери в моретата и океаните.

8.2. Адсорбция на тежки метали с йерархично самоподредени наноструктури

Този тип наноматериали представляват мезопорести нанокompозити, състоящи се от силикатен скелет – структура с цилиндрични пори, което прави материала шуслест с голяма специфична повърхност и нанометрични размери (диаметър) на порите (напр. $900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ и 5060 nm). Тези пори функционират като шаблони за присъединяване на молекули със специфични размери и свойства, при което се образуват плътни монослоеве върху повърхността на стените на порите. Молекулите са здраво свързани в единия си край към керамичния (силикатен) носител, а другият край остава свободен с възможност да реагира и се свързва с други желани химични съединения. Тези нанокompозити се отнасят към така наречените самоподредени монослоеве върху мезопорестия носител (SAMS) и са много ефективни при адсорбирането на тежки метални йони от отпадъчни потоци. Също така се очаква тези НМ да намерят и много други приложения, както например при акумулирането и съхраняването на енергия, при различни процеси на разделяне на химични хомогенни системи, в катализа и в различни технологии, използвани за възстановяване на нанесени щети на природната среда [2,10].

8.3. Фотокаталитично пречистване на флуиди

Наноструктурираните материали намират приложение и за фотокаталитично пречистване на различни флуиди. Те могат да се използват както за пречистване на съществуващи отпадъци, така и за предотвратяване образуването на замърсени с опасни компоненти отпадъчни флуиди [2,10]. В този случай НЧ играят ролята на катализатор при фотохимичния процес на окисляване и разлагане на органични замърсители в отпадъчни флуидни потоци (течни и газови). Така например наноструктурираният титанов диоксид може да се използва като

фотокатализатор за почистване от замърсители на различни флуиди. С помощта на този катализатор могат не само фотохимично да се окисляват органични съединения, но и биологични замърсители. Тези възможности продължават да се изследват за нови видове органични съединения и биологични примеси. Непрекъснато се потвърждава целесъобразното използване на тези НМ като катализатор при фотокаталитичното пречистване на различни флуиди. Наноструктурираният материал се подава и включва в замърсения флуиден поток, където той реагира при облъчване на потока със светлина със замърсителя и се постига почистване на флуида.

Два нови НМ бяха разработени в последните години за приложение при пречистването на флуиди. Единият се основава на получаването на неорганични фулерени от молибден и сяра, а вторият представлява едностенни нанотръбички. Както беше отбелязано по-рано, въглеродните нанотръбични материали могат да се използват не само като акумулатори за съхранение на водородно гориво, но и за пречистване на отпадъчни газови потоци от замърсители. Тяхното приложение непрекъснато се разширява за пречистване на различни видове замърсители, в това число и от тежки метали [2,10].

Неорганичните фулерени са с правилна структура, която има само относително инертни Ван дер Ваалсови повърхности с оптични канали. Това позволява те да се използват ефективно при фотоокислението на замърсителите в отпадъчните флуидни потоци. И двата НМ – неорганичните фулерени и ВНТ, представляват нови наноструктури, които притежават специфични химични отношения към различни замърсители и позволяват тяхното разграждане и отделяне от третираните флуиди.

8.4. Получаване на мезопорести материали

В изпълнение на продължителен изследователски проект фирмата „Мобил Ойл“ разработи и внедри кристални носители за катализатори. Това беше революционно постижение в катализата. Започна заместване на широко използваните като катализатори носители аморфни метални оксиди с кристални. Разработени бяха и намират приложение вече мезопорести зеолитни материали като катализаторни носители с диаметър на порите под 1 nm. Такива марки зеолити като Y и ZSM-5 вече имат широко приложение при получаването на катализатори за няколко основни каталитични технологични процеси в нефтопреработващата и нефтохимическата промишленост. Ефектът от тяхното приложение в света възлиза годишно на няколко милиарда долара [2,10].

8.5. Приложение на нанопорести полимери за пречистване на води

Неотдавна бяха синтезирани и усвоена технологията за получаването на нов клас органични полимери с наноразмерни пори (диаметър на тесните канали в границите 0.7–1.2 nm). Те са получени на основата на циклодекстрини, използвани като главен компонент при

синтеза. Получаваният нанопорест полимерен материал има превъзходни задържаща способност и молекулно-транспортни свойства по отношение на молекулите на някои органични съединения на фазовата гранична повърхност между течна и твърда фаза. С помощта на този полимерен нанопорест материал изключително ефективно могат да се уловят и отделят опасни органични замърсители от отпадъчните води. Възможно е да се постигне остатъчна концентрация на органичните замърсители в почистваните води до трилионни части [2,3,10].

8.6. Наночастици в околната среда

Природните НЧ като метални оксиди, различни видове глини и други колоидни системи се считат за главни пренасящи средства както на хранителни вещества, така и на замърсители във водите, почвите и въздуха. Изучаването и получаването на по-пълна информация за тези транспортни процеси ще позволи по-добре да се разбира същността на разпределението на полезните и вредните органични и неорганични съставни компоненти, както и имобилизирането на неблагоприятните. В това отношение могат да се посочат някои прилагани или в процес на разработване наноматериали и процеси [2,3,10]:

- Използване на природни и синтетични зеолити и други почвени нанопорести кондиционери за контрол на съхранението и управлявано използване на влагата в почвите;
- Контролирано отделяне и усвояване на микро- и макрохранителните елементи от прилаганите в земеделието изкуствени торове;
- Използване на природни зеолити като йонообменни средства за почистване на отпадъчни води и детергенти;
- Прилагане на силикагел и други нанофазни твърди материали за изсушаване на различни хомогенни и хетерогенни системи;
- Използване на природни зеолити и глини като част от защитните материали срещу радионуклиди в депата за складиране на ядрени отпадъци;
- Прибавяне на природни зеолити и алумосиликати към храната на животните за регулиране на усвояването на храните и по-бързо развитие и др.

Повечето от посочените продукти и процеси са ниско-технологични, но тяхното по-нататъшно регулиране и усъвършенстване ще позволи да се намерят нови по-квалифицирани приложения като производството на лекарства, създаване на регенеративни жизнени системи за космическите кораби и станции и др.

Детайлното и бързо изследване и анализ на природни НМ за определяне на техния композиционен състав, разсеяни елементи, морфология и структура на атомно ниво ще води до по-пълно изясняване на тяхната роля при замърсяване на околната среда и определяне на източниците на замърсявания. Пример в това отношение може да бъде азбестът, за който е известно, че различните негови разновидности в зависимост от химичния и минераложки състав и структура имат силно различаващо се канцерогенно действие. Засега все още токсично-

Таблица 9. Нанотехнологии и проблеми за защита на околната среда

Проблеми на околната среда	Основни фактори, които водят до възникване на проблеми	Съществуваща ситуация, прогнози за бъдещето и др.
Повишаване на температурата на земната атмосфера	Изпускане в атмосферата на големи количества CO ₂ и CH ₄ , което се дължи на непрекъснато увеличаващия се обем на изгаряни горива (нефт и др.), отпадъчни газове от автомобилите и др.	Средногодишната температура на Земята през 1960–2000 г. се е повишила с 0.5°C. Очаква се през XXI век средногодишната температура да нарасне с още 3°C, при което нивото на световния океан ще се повиши с около 65 cm; в ниските крайморски и крайокеански области повишаване на нивото на водата ще предизвика сериозни проблеми; повишаването на температурата значително ще измести разпределението на горските масиви на планетата и ще доведе до замаяната на едни дървесни видове с други; изменението на климата ще доведе до увеличаване на т. нар. денонощни пикове в консумацията на електроенергия, също и до повишаване на температурата в големите градове и околностите им.
Разрушаване на озоновия слой	Озоновият слой ще се разрушава най-вече под влияние на фреоните, широко използвани в промишлеността и битовата техника (хладилни агенти, аерозоли и др.)	Измервания през септември 1996 г. показват, че размерите на озоновата дупка над Антарктида се е увеличила 1.8 пъти, а през 2005 г. има площ, равна на тази на континента Австралия; измервания през юли 1996 г. показват, че обемът на озоновия слой над остров Хокайдо (Япония) е намален с 30%; медици считат, че намаляването на озоновия слой с 1% води до нарастване на броя на болните от рак на кожата с 3–6%, а на левкемията с 1%; според прогнозите на лекарите намаляването с 10% на озоновия слой довежда до нарастване на заболяванията от рак на кожата с 20%. Всяка година 1.6–1.7 млн. души ще заболяват от левкемия; продължаващото нарастване на обема на изхвърляните в атмосферата фреони ще доведе до съществено разрушаване на озоновия слой през близките 10 години
Замърсяване на околната среда с диоксини	Широко приложение на диоксините в промишлеността	Хлорсъдържащите съединения постоянно постъпват в атмосферата при изгарянето на различни пластмаси (поливинилхлориди, уретани и др.); пепели и остатъци от изгаряните полимерни отпадъци замърсяват атмосферата, почвите и водоизточниците; диоксин се регистрира дори в майчиното мляко [3]
Киселинни дъждове	Възникването на киселинни дъждове е свързано с постъпването в атмосферата на големи количества серни и азотни оксиди, а така също и сулфиди и нитриди	Сулфиди и нитриди се съдържат в големи количества в продуктите на изгаряне на горивата (въглища, нефт и др.); големи количества азотни съединения и CO ₂ се съдържат в отпадъчните газове на двигателите с вътрешно горене; от 1990 г. в световен мащаб се наблюдава постоянно нарастване на белодробните и др. заболявания, свързани със замърсяването на атмосферата; от киселите дъждове заболяват хиляди хора от очни и кожни болести

то действие на природните НЧ не е напълно изучено. Разработените на основа на НТ нови сензори се очаква да спомогнат за пълното изясняване на механизма на вредното действие на природните НЧ. Тези сензори ще позволят да се откриват много ниски концентрации от замърсители във водите и атмосферния въздух, както и в отпадъчните промишлени газове.

На таблица 9 е показано как НТ решават проблеми на околната среда, а на таблица 10 са представени възможните приложения на НТ в екологията и енергетиката [3].

9. Приложение на нанотехнологиите и наноматериалите в отбраната и борбата с тероризма

В областта на военното дело и в борбата срещу тероризма основните направления, по които се работи понастоящем, са следните [7,8]:

Получаване на наноразмерни материали (прахове, нанотръбички (фулерени)) за изработване на:

- Тънки униформи с вграден климатик, който да поддържа нормална температура на тялото, еластични, непробиваеми за куршуми и взривове. Тези униформи ще имат системи за глобално позициониране и ще бъдат снабдени с безжичен компютър, видеокамера и свързочни устройства. Студенти от Масачузетския технологичен

институт са финансирани от армията на САЩ с 50 млн. долара, за да създадат миниатюрни механизми и роботи с наноразмери. Американски студенти разработват по поръчка на Пентагона военни униформи на бъдещето. Ако част от тези проекти се осъществи, през 2025 г. войниците ще могат да носят тънки униформи, които ще бъдат не само еластични, но и непробиваеми за куршуми и взривове.

- В близко бъдеще ще се изработва шлем – каска с окуляр за предаване на информация от бойното поле, и защитни бронезилетки – изработени от материя, съдържаща микроскопични железни феромагнитни сфери, които се превръщат при нужда в твърдо вещество при включване на електромагнитно поле. Очилата ще спират куршумите, без да се трошат. На базата на синтезирани НМ ще се изработват изключително здрави подметки, които ще се износват в продължение на десетина години.

- Очаква се боецът с модерно оборудване да стане нещо обикновено на бойното поле още през 2010 г. Тялото му ще бъде предпазено от свръхлека броня. Униформата му ще бъде снабдена с безжичен компютър, видеокамера и свързочни устройства. Униформите на бъдещето трябва да са водонепроницаеми. Това може да стане с помощта на тефлон, с който ще бъде покрита бронезилетката. Всичко това съществено ще олекоти снаряже-

Таблица 10. Възможни приложения на нанотехнологиите в екологията и енергетиката

Проблеми на екологията и енергетиката	Възможности за използване на нанотехнологии	Икономически, социални и технически задачи
Повишаване на температурата на атмосферата на Земята	Търсене на алтернативни източници на енергия (отказване от изгаряне на изкопаеми горива, използване на природни източници); повишаване на КПД на инсталациите, работещи със слънчева енергия; нови горивни елементи; използване на енергията на вятъра и т.н.; съществено намаляване на съдържанието на CO ₂ в отпадъчните газове и др.	Развиване на екологично безопасни транспортни средства; развиване и производство на нови източници на енергия (горивни елементи и др.); широко внедряване на нови видове материали (на основата на въглеродни нанотръбчици и др.)
Разрушаване на озоновия слой	Търсене на вещества и материали, които да заместят фреоните	Предотвратяване на по-нататъшното разрушаване на озоновия слой; понижаване на риска от онкологични заболявания (намаляването на озоновия слой с 10% повишава броя на онкологичните заболявания с 20%)
Замърсяване на околната среда с диоксини	Търсене на нови материали, които могат да заместят хлорсъдържащите пластмаси; създаване на биодатчици, позволяващи продължителен и точен мониторинг на околната среда; създаване на нанопрахове за борба със замърсяванията на околната среда; създаване на нанопилтри	Създаване на общества и икономики от „безотпадъчен“ тип; прекратяване на изпускането на екологично опасни вещества; пълно преработване на отпадъците; пълно предотвратяване образуването на диоксин
Киселинни дъждове	Търсене на алтернативни източници на енергия (отказване от изгаряне на изкопаеми горива, използване на природни източници); повишаване КПД на инсталациите, използващи слънчева енергия; нови горивни елементи	Намаляване или прекратяване на изхвърлянето на серни и азотни оксиди от транспорта и промишлените инсталации

нието на войниците, което в момента е около 50 килограма. Очаква се до 3 години теглото да се намали наполовина, а към 2025 г. ще се олекоти десетократно.

- Еластичността на бронята на боеца (антитерориста) може да бъде увеличена посредством микроскопични железни сфери. За части от секундата те ще се превръщат в твърдо вещество посредством електромагнитни сили. По такъв начин жилетките могат да бъдат снабдени с лостове за включване и изключване. Така че в обозримо бъдеще е възможно да бъдат заменени керамичните плочки на сегашните бронезилетки, в които са втъкани влакна от кевлар. Целта е плочките да се заместят със специални течности, които да се втвърдяват при включване на електромагнитно поле. Може би ще бъдат създадени механични наноструктури, които да действат като човешки мускули. Изработване на набор от нанобиосензори под униформата на боеца за отчитане на кръвното налягане на боеца, които, ако доловят наличието на огнестрелна рана (по показанията на кръвното налягане), автоматично ще се свиват около нея, за да предотвратят загубата на кръв – при огнестрелна рана кръвното налягане пада и сигналът се подава в съответния медицински център, който веднага се информира за оказване на медицинска помощ.

Разработване на технологии за получаване на: наноматериали и химикали, нанокompозити, самоорганизиращи се ансамбли, филмови покрития, тънки филми и конструкционни материали, които да намерят приложение в специалните производства на отбраната, в борбата срещу тероризма и в частност в: праховата металургия (металокерамиката), фармацевтиката и опазването на околната среда (екологията).

Технологии за унищожаване и утилизация на излишните бойни припаси в армията – това са важни технологии с високи екологични изисквания, при които се получават редица полезни за стопанството продукти. Специалните стомани и сплави ще се получават от скраб на разснорядени боеприпаси – модифицирани с плазмохимично синтезирани нанопрахове на модифицирани добавки – нитриди (алуминиев, силициев, титанов), карбиди (силициев, титанов, волфрамов), карбонитриди и др. При това легиране се получават стомани и сплави с подобрени физикомеханични характеристики и ще се използват в специалното машиностроене за производство на съвременен въоръжение с високи техникoмеханични характеристики. Очаква се да се получават нови нанокompозити, самоорганизиращи се ансамбли, филмови покрития, тънки филми и конструкционни материали, които да намерят приложение в специалните производства на отбраната, в борбата срещу тероризма и в частност в праховата металургия.

Други направления за приложение на НТ във военното дело са: разработване на нови системи нанoeлектроника и компютърни технологии; създаване на по-сложни виртуални системи на основа на наноструктурната електроника за обучение и тренировка на военните кадри; повишаване на автоматизацията и роботизацията с цел съкращаване на военния персонал и риска за него при военни действия; създаване на нови маломерни устройства с по-малка маса, по-голяма устойчивост и якост; повишаване на ефективността на средствата за химична, биологична и ядрена защита на войските и военната техника; подобряване в системите, използвани за химично, биологично и ядрено разузнаване и мониторинг.

Нанонауката има с какво да помогне при създаването на мощни оръжия или инструменти за следене и подслушване. Според много аналитици точно това е една от основните причини правителството на САЩ само през 2004 г. да инвестира \$900 млн. в нея.

Предвижда се международно сътрудничество най-вече с американски университети и научни организации: Масачузетския технологичен институт, Американското химическо дружество, Пентагона, японски фирми и др.

В заключение трябва да посочим, че внедряването на НТ за нуждите на отбраната и в борбата срещу тероризма ще внесе значим качествено нов тласък в развитието им, но за това са необходими значителни финансови средства, които да обезпечат своевременното им внедряване не само в САЩ, но и в другите страни.

10. Нанотехнологии и наноматериали в бита

В началото на XXI век човечеството трябва да се задоволява само с първите успехи на НТ в бита: плоски дисплеи, които светят по-силно, топки за тенис, които отскачат по-добре, дрехи, които не се мачкат и са устойчиви на замърсяване. От наноматериали се изработват немачкаеми материи с голяма механична здравина, нецапащи се и немокрещи се от вода и други течности, за изработване на различни облекла. Влакната са създадени посредством потапяне на памучния плат в химично съединение, чиято формула е фирмена тайна. Тъй като частиците са с наноразмери, те проникват лесно в плата и не променят начина, по който той изглежда. Освен нанопанталоните на пазара има и наноризи и наноякета. Нанотехнологичен продукт, който лесно се отличава от традиционните, е немачкаемият панталон на Greensboro. Продават го Eddie Bauer, Lee Jeans и други. Милиарди малки влакнцата създават тънък слой въздух над плата, като изглаждат гънките и позволяват на течностите да се стекат, без да оставят следа. Компанията създаде и удобни, устойчиви на замърсяване синтетични материи и тапицерии за мебели. Панталоните, които не се цапат, и дълго подскачащите топки за тенис дължат предимствата си на един фундаментален принцип – различните мащаби водят до различни резултати. Това е причината обикновени вещества като гума или слънцезащитен крем да имат напълно различни характеристики, когато са синтезирани по различен начин на молекулно ниво.

Производителите на мляко против слънчево изгаряне с изненада откриха, че цинковият оксид (вещество, което пази кожата от изгаряне), който по принцип е плътен и с бял цвят (цинквейс), става прозрачен, когато е изграден от частици с наноразмери, които покриват по-плътна кожата и не отразяват светлината.

Procter and Gamble вече използват НЧ от цинков оксид в своя Olay слънцезащитен лосион. Wilson Double Core топките за тенис подскачат два пъти по-дълго от обикновените благодарение на специалната им изработка от гума, изградена от НЧ.

Cerax на VailSoft осигурява на скиорите по-висока скорост и по-добър контрол от традиционните вакси

благодарение на нанотехнологичната си структура, която издържа независимо от условията, при които се управляват ските [7,8].

Стерилният мобилен телефон на корейската компания SK Teletech има специално покритие от наноразмерни сребърни частици, което атакува патогенните микроорганизми. Според едно проучване в телефона обитават около 25 000 бактерии, които крият истински риск за здравето. Своеобразни развъдници на бактерии са и домакинските уреди – хладилници, съдомиялни и перални машини. Още през 1999 г. компанията „Самсунг“ започна да работи върху внедряване на сребърната нанотехнология в тези машини за бита. Сребърните наночастици могат да „обезвреждат“ над 650 типа бактерии. След 4 години усилен търсения първите силвър нано перални излязоха на пазара – първо в Южна Корея, а после в целия свят. В пералнята на „Самсунг“ има 26 g чисто сребро – това е специална плочка, от която чрез електролиза се образува огромно количество сребърни йони, които навлизат дълбоко в тъканите и убиват 99% от бактериите, включително коли бактерии, стафилококи и др. Според производителя уредът е много подходящ за семейства с бебета и хора с алергии. Сребърната нанотехнология блокира развитието на бактериите в продължение на 30 дни, така че дори да останат в пералнята дълго време, изпраните дрехи няма да придобият неприятна миризма.

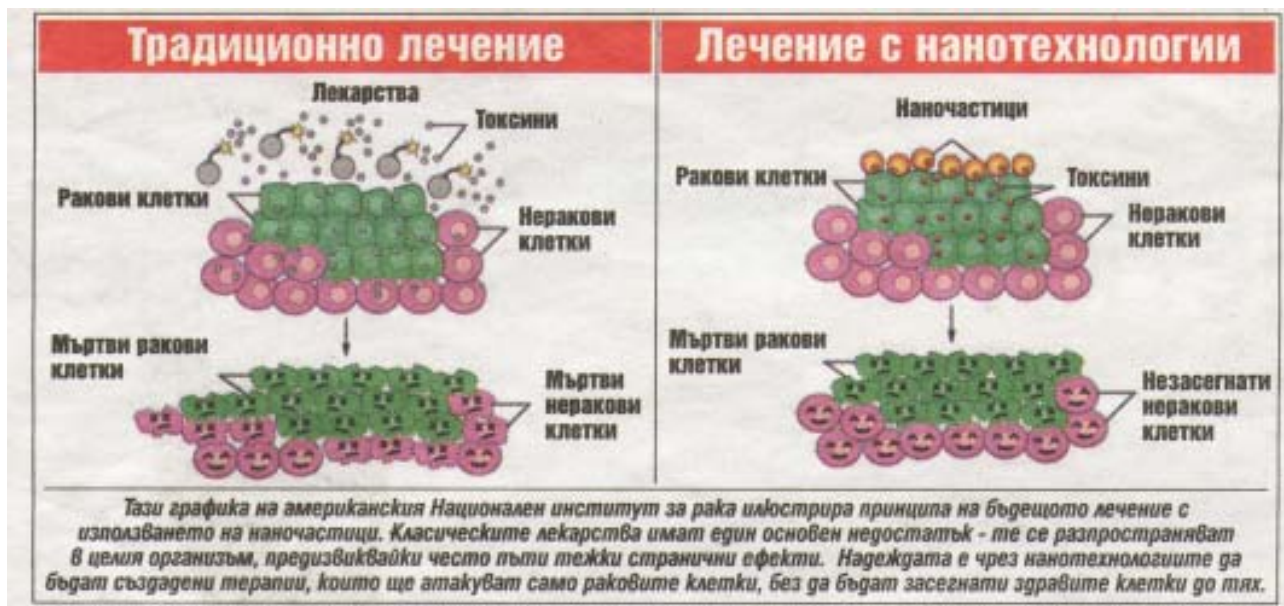
Нанодисперсните сребърни частици могат да бъдат полезни и в хладилниците. С тяхна помощ продуктите се запазват по-дълго време пресни. Унищожават се и всички неприятни миризми, които се наслагват с времето.

11. Нанотехнологии и наноматериали в биологията и медицината

В медицината могат да се посочат клонове, където изкуствено създадени наноструктури или биороботи биха могли да се използват с голяма ефективност. С тяхна помощ се очаква да се осъществят: генетични намеси в организма; създаване на биосензори за контрол и наблюдение на процесите в него дори на равнище клетка; създаване на изкуствени устойчиви тъкани и органи; транспорт и ефективно използване на лекарствени препарати; диагностика и лечение; повишаване на дълголетието чрез подобряване на имунната система; отстраняване на тумори и др.

Класическите лекарства имат основен недостатък – разпространяват се в целия организъм и често пъти предизвикват тежки странични ефекти (фиг. 8) [6].

В случая с рака това не дава възможност те да бъдат предписвани в дози, които наистина могат да излекуват пациента. Хирургичната намеса също води до рискове – често е трудно да се отстранят или да се възстановят болните тъкани, без други да бъдат засегнати или увредени при операцията. Затова очакванията са наномедициментите да открият нова ера в лечението, особено на рака. Да се унищожат раковите клетки, без да се повредят здравите клетки и без да се предизвикат странични ефек-



Фиг. 8. Схема на лечение на ракови образувания според традиционната лекарствена химиотерапевтична схема и посредством наночастици.

ти, може да се постигне с наномедикаментите, които ще бъдат създадени до 2010 година. В туморите ще се вкарват микрокапсули („нанобомби“ – nanoshells), които могат да бъдат активирани от разстояние (фиг. 9) [6].

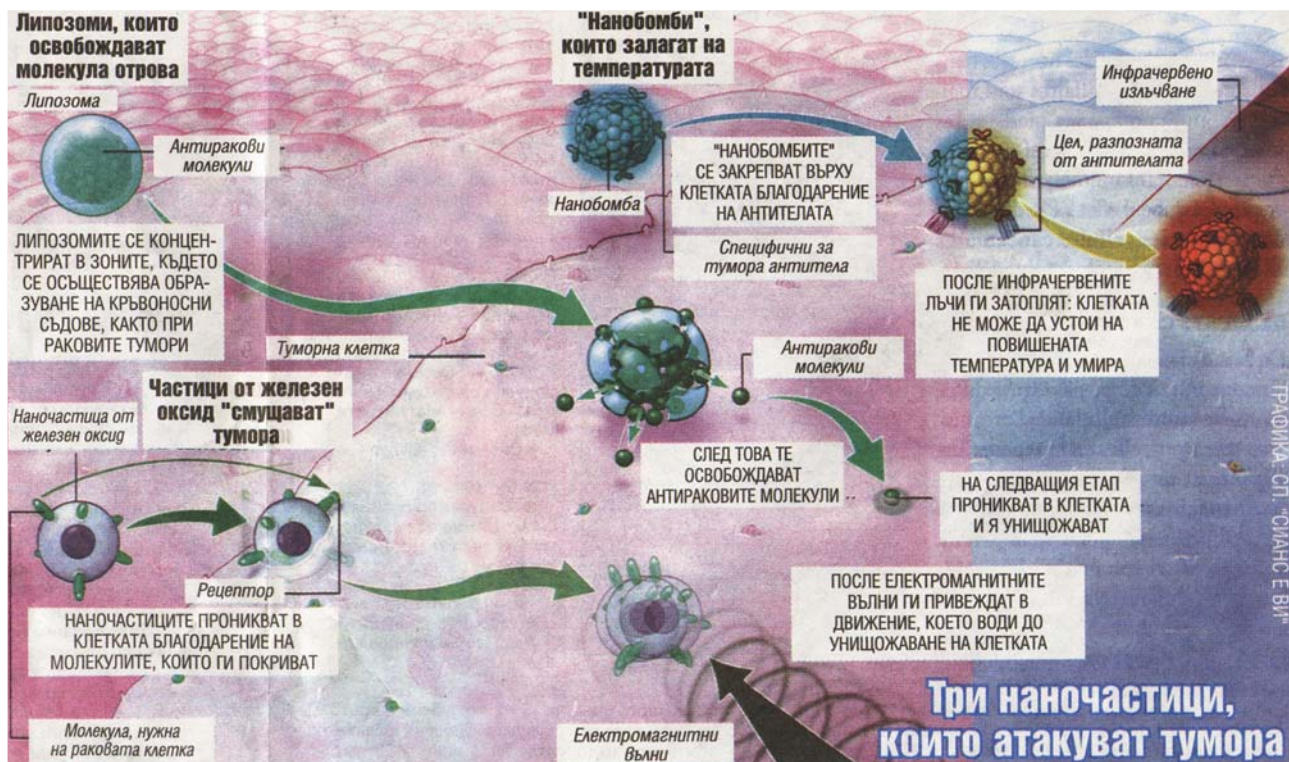
Тези наноснаряди представляват сфери от силиций, обвити със злато с диаметър от порядъка на неколкостотин nm. Тези наносферички реагират със светлината по специфичен начин. Под въздействието на лазер наноснарядите на свой ред започват да излъчват светлина, но с различна дължина на вълната, която варира с изключителна точност в зависимост от отношението между ядро от силиций и дебелината на слоя от злато.

Това физично явление е познато като плазмен резонанс. При честота на светлината, близка до инфрачервения диапазон (около 800 nm), наноснарядите поглъщат част от светлинната енергия и повишават температурата си с десетина градуса над телесната и разрушават раковите клетки. Как да бъдат „докарани“ наноснарядите до раковите клетки? За да постигнат това, изследователите използват една особеност на туморите: достигайки големина около милиметър, те започват да произвеждат собствени кръвоносни съдове, способни да ги хранят. В зоната на създаването на тези кръвоносни съдове се наблюдава ефект на пропускане и на задържане на по-големите молекули, които се движат в кръвта, тъй наречения ефект EPR (enhanced permeability and retention effect). Ако нанобомбите са достатъчно големи, за да преминат през стените на кръвоносните съдове – това гарантира, че те няма да се разпръснат из цялото тяло, а ще се натрупват там, където се оформят новите кръвоносни съдове. Освен това златото, което ги покрива, не предизвиква имунна реакция, защото става дума за неутрален метал.

За да проверят идеята, учени от университета „Райс“ в Хюстън и от създадената от тях компания „Наноспектра“ инжектират наноснаряди в близост до човешки тумори, имплантирани в мишки. Половин час по-късно

всички нанобомби били натрупани около тумора поради ефекта EPR. После през кожата към тумора е насочен лазер с дължина на вълната, близка до инфрачервената светлина (820 nm), с мощност 4 W cm^2 , т.е. достатъчна, за да достигне до наноснаряда и да повиши температурата му, но без да нарани съседните тъкани, които са едва затоплени. За кратко време (минути) туморът е унищожен.

За да бъдат достигнати директно раковите клетки „Наноспектра“ се е насочила към рецептора на определени видове рак на гърдата – HER2 (human epidermal receptor), и смята да го приложи до края на 2005 г. Инфрачервеният лазер, който затопля, може да прониква на не повече от 3–4 cm дълбочина. Това не е проблем, когато туморите са близо до кожата или когато могат да се използват естествените пътища като гърлото, белия дроб, ректума или пикочния мехур. Това не се отнася до разпръснатите метастази или тумори, които трудно могат да бъдат достигнати. В университета в Бъфало, Ню Йорк, е създаден през 1998 г. метод, който преодолява разстоянията до тези тумори. Това са наночастици от железен оксид, обвити със силиций, а след това покрити едновременно с полимер, който ги прави невидими за имунната система, и с молекули, които привличат раковите клетки. При първите опити е използван полов хормон – LH-RH, към който раковите клетки на гърдата са „лакоми“. На повърхността на частиците учените фиксират и фрагменти от антитела. Частиците са по-малки от 70 nm и проникват в клетките, които искат да се „хранят“ с молекулите на повърхността им. Тук се използват магнитните характеристики на тези частици. Те се вкарват в кръвообращението или в близост до туморите и след като проникнат в раковите клетки, се прилага магнитно поле чрез ЯМР. По този начин са достигнати и най-дълбоките тъкани. Феромагнитните частици се ориентират по магнитните силови линии, равновесието на химичните реакции в раковите клетки е нарушено и в резултат на това те загиват.



Фиг. 9. Три наночастици, които атакуват тумора.

Изследователският екип в Бъфало нарече частиците си „нанобио лекарства“, патентова ги и създаде компанията „Нанобиотикс“. Тя планира да развие гама от продукти и да ги изпита в клиничната практика. Друга процедура на тази компания се състои в това наночастиците да се активират с рентгенови или лазерни лъчи, под чието въздействие се освобождават свободни радикали или химични елементи, които разрушават раковите клетки. Опитите върху животни доказаха ефективността на тази процедура, без да предизвикват натрупване на частици в черния дроб, бъбреците или далака.

Германската фирма „Маг-Форс“ използва сходен подход с феромагнитни наночастици, които са твърде големи, за да проникнат в клетките, но които се закрепват върху тях и ги затоплят под въздействие на алтернативно външно магнитно поле. В края на 2004 г. подобни изследвания се проведоха успешно и върху пациенти, страдащи от рак на мозъка.

Надеждата е, че гореизброените методи ще бъдат приложени клинично в следващите 5–6 години, което ще доведе до нова революция в борбата срещу рака.

Нанотехнологиите позволяват да се получават нови лекарства с уникални качества и по-голям терапевтичен ефект. Нарастващите възможности на НТ позволяват да се развият базови изследвания на клетъчната биология и патология. Синтетични органични и неорганични НМ могат да се вкарват в клетките за тяхното изследване и диагностика, а също така потенциално и като активни компоненти в тях.

През 1990 г. започна реализирането на огромен международен проект по определяне на последовател-

ността на разполагане на около 3 милиарда нуклеидни остатъци при записването на генетичната информация (проект „Геном на човека“) [3]. Този проект беше много важен за развитие на нанотехнологиите, тъй като откри нови големи възможности в информационните технологии, като позволи да се разберат, а след това и да се използват принципите на обработване на информацията в живата природа (биоинформатика). При реализирането на проекта „Геном на човека“ настъпи бързо и енергично развитие на разнообразните изследователски методики в областта на биотехнологиите. Този проект бе завършен през 2000 г. и позволи на учените да прочетат генетичната информация, свързана с човешкия организъм, което доведе до създаването на нови лекарства на основата на нови принципи (геномика). Следващ естествен етап стана развитието на нови отрасли на фармацевтичната промишленост и създаване на нови производствени процеси и мощности.

Може да се очаква, че лекарствата през XXI век ще се произвеждат буквално индивидуално за всеки пациент и въз основа на неговата генна информация ще се разработват препарати, които осигуряват максимален лечебен ефект за дадено заболяване.

Съществуват и други потенциални приложения на нанонауката, НТ и НМ в биологията и медицината като: постигане на бърза, ефективна диагностика и терапия; ефективно и по-евтино лечение чрез прилагане на дистанционни устройства; създаване на ефективни изкуствени тъкани и органи с голяма устойчивост срещу отхвърляне от организма; разработване на системи за бързо откриване на болестна заплаха в човешкото тяло

Таблица 11. Връзка на НТ с биологията и медицината

Област на изследвания	Възможни практически приложения на нанотехнологиите	Социални, икономически и технически резултати
Здравеопазване и медицина	Създаване на наноустройства (автономни и въведени в организма); биодатчици (създаване на органични и неорганични материали, превъзхождащи по функционални възможности тъканите на организма); създаване на биомеханизми за измервания и необходими медицински действия	Нови парадигми в медицината; създаване на продължително действащи и ефективни системи за контрол на здравето; измерване степента на замърсяване на околната среда; революционни изменения в медицинското обслужване (поява на медицина с „малка“ намеса и „без намеса“); измерване на съдържанието на различни вещества в организма, лечебни операции при необходимост (детектиране и унищожаване на ракови клетки и т.н.)
Лекарствени средства	Практическо използване на резултатите от проекта „Геном на човека“; „адресирано“ доставяне на лекарства; получаване на нови биоматериали; изкуствени ензими и антитела; изкуствени функционални полимери (заместители на тъкани в организма и др.)	Осъществяване на идеята „индивидуална медицина“; организиране на пълен курс на лечение на базата на лична генетична информация за пациента; голям прогрес в здравеопазването и фармацевтията; непрекъснат контрол на състоянието на организма; пълна победа над раковите заболявания, спин, птичи грип и т.н.; разработване на лекарства с нов механизъм на действие (например препарати, които се активират при повишаване на температурата на пациента)
Възстановяваща медицина	Производство на биологичноактивни нановещества по методите на самоорганизирането	Реализиране на идеите на възстановяващата медицина; получаване на изкуствени тъкани и органи, които не се отхвърлят от организма; развитие на пазара на медицинските услуги (до 50 милиарда йени за 2020 г. за Япония [3])

и промяна на акцента от лечение на констатирано налично заболяване към ранното откриване на признаците и предпазване от заболяване.

На таблица 11 е направен опит да се покаже връзката на НТ с биологията и медицината.

12. Нанотехнологиите в селското стопанство

През последното столетие населението на Земята се увеличи около 4 пъти и към 2005 г. е вече около 6.5 милиарда. Ако темповете на нарастване се запазят, по прогнози на ООН броят на населението на нашата планета към 2050 г. ще бъде около 100 милиарда. Това рязко нарастване ще постави остро проблема с неговото изхранване. Понастоящем в слабо развитите страни ежегодно умират от глад от неколкостотин хиляди до няколко милиона души. Освен това нарастването на населението предизвиква и други негативни последици (урбанизация, унищожаване на горски масиви, увеличаване площта на пустините, постоянно намаляване на площите на обработваемите земи и др.).

Осигуряването на стабилно и достатъчно ниво на производство на хранителни продукти изисква преди всичко увеличаване площта на посеви и повишаване на добива на селскостопанските култури, т.е. развиване на нови методи за водене на селското стопанство. Става дума, от една страна, за методи за култивиране на непригодните за селско стопанство земи, а, от друга – за повишаване на производителността на съществуващите плодородни земи в глобален мащаб.

Развитието на НТ обещава да създаде нови и перспективни възможности за разрешаване на посочените проблеми. Преди всичко трябва да се посочи потенциалът на тъй наречените генни технологии, които позволяват генетично да се модифицират много селскостопански

култури и не само да се повишат добивите, но и да се направят по-устойчиви към паразити и вредители.

Понастоящем много страни осъществяват едромасабни проекти, свързани с генно инженерство и генетично модифициране на хранителни продукти. Например в Кения са внедрени генетично модифицирани сортове батати (сладки картофи), устойчиви по отношение на вируси, а в Индия – сорт батати с повишена устойчивост към насекоми вредители, което е довело до рязко повишаване на добивите. По-подробна информация за тези и други проекти може да се получи на страницата на Центъра за изучаване на проблемите на хранителните продукти в сайта на интернет: www.fsic.co.jp/bio/main/body/answer02/answer204.html [3].

Широкото практическо приложение на НТ в генното инженерство ще започне по-късно, когато ще се осъществи съществен прогрес в разбирането на генетичната информация на растенията и ще бъдат създадени наноустройства със запис на генна информация върху чип, ДНК чипове за анализ и друга лабораторна техника.

На таблица 12 са показани някои от възможностите за приложение на НТ в селското стопанство [3].

13. Нанотехнологиите и образованието

Всички разгледани дотук разностранни приложения на НТ не биха имали своята реализация и най-вече бъдещото си развитие, ако не се вземат адекватни мерки за своевременно и висококompетентно подготвяне на висококвалифицирани млади специалисти в областта на нанонауката и НТ.

Подготовката на специалисти за научни изследвания, технологии и инженерна развойна дейност в областта на НТ и тяхното приложение в различни области изисква използване на напредъка в редица фундаментални и

Таблица 12. Възможности за приложение на НТ в селското стопанство

Проблеми на селското стопанство	Възможни практически приложения на нанотехнологиите	Социални, икономически и технически последиствия
Недостиг на хранителни продукти	Методи за генетично модифициране: създаване на по-устойчиви към гризачи и вредители сортове растения повишаване на добивите повишаване на хранителните качества на продуктите анализ на генетичната информация на растенията, гена модификация използване на ДНК чипове и др.	Решаване на проблема с недостига на храна; създаване на стабилно и достатъчно селскостопанско производство; широко използване на техниката на ДНК чипове и ДНК анализ

Таблица 13. Развитие на изследванията в областта на НТ в някои европейски страни

Страна	Състояние на изследванията в областта на НТ
Германия	Изследванията се спонсорират от Министерството на образованието, науката, изследванията и технологиите (МОНИТ). Изследователските центрове по НТ са създадени в институти „Фраунгофер“, „Макс Планк“ и много университети. През 1998 г. МОНИТ създаде 5 нови големи центрове, като отделя за развитието на НТ около \$5 млн. годишно.
Англия	Изследванията се спонсорират от Съвета по физикотехнически изследвания (EPSRC). Още през 1998 г. е утвърдена „мрежова“ програма, финансирана с около \$2 млн. годишно. Националната физична лаборатория разработи Национална инициатива по НТ (National Initiative On Nanotechnology, NION). Развива се сътрудничеството между правителствени, промишлени и изследователски организации, свързани с тези изследвания. През периода 1994–1999 г. EPSRC отдели за НТ изследвания по \$7 млн. годишно (включително \$1 млн. за получаване на нанопрахове).
Франция	Изследванията се определят от Националния център по научни изследвания (CNRS), който утвърди програма за изследване на нанопрахове и нанокмпозиционни материали. Той финансира около 40 физични и 20 химични лаборатории. За координиране на връзките между научните и промишлените среди бе създаден Френски клуб по НТ (French Club Nanotechnologie). CNRS отделя по 40 млн. долара годишно за изследвания в областта на НТ в повече от 60 лаборатории при обща численост на персонала над 500 души.
Швеция	За изследвания в областта на НТ се отделят около 1 млн. долара годишно. Създадени са 4 големи изследователски центъра: 1) Angstrom Consortium – от 1998 г. се отделят по \$800 хил. за разработване и изследване на нанопокрития. 2) Nanometer Structures Consortium, който изразходва за изследвания \$3.5 млн. годишно, от които 1 млн. долара се отделят по програмата за информационни технологии на Европейския съюз, ESPIT. 3) Cluster based and Ultra-fine particle Materials, за който от 1998 г. се отделят по 400 хил. долара годишно. 4) Brinel Center.
Швейцария	Утвърдена е държавна програма за изследвания в областта на НТ и внедряване на резултатите в промишлеността. Работят редица големи изследователски центрове: IBM Research Laboratory (Zurich). Основни направления на изследванията: наносонди, молекулни манипулации, изучаване на повърхности. 2) Paul Scherrer Institute – наноустройства, нанодатчици. 3) ETH Zurich – наноелектроника. 4) L'Ecole Polytechnique Federale de Lausanne – процеси на самоорганизиране. От 2000 г. се реализира програмата TOP NANO 21 Project.

инженерни дисциплини като: физика, химия, биология, материалознание, механика, електроника и др. Освен това необходимо е тяхната насоченост да е пряко свързана с наноструктурите, свойствата и отнасянията им и закономерностите на тяхното изграждане. Интердисциплинарният характер на нанонауката и НТ изисква да се осигурява възможност за осъществяване на по-тесни връзки между отделните дисциплини и тяхното интегриране при подготовката на млади специалисти в университетите. Едновременно с това ще трябва да се формират нови интердисциплинарни области и дисциплини, непознати досега, както и да се създава и развива нова апаратура, лабораторна и кадрова инфраструктура в университетите. Всичко това ще позволи да се постигне подготовка на висококвалифицирани специалисти за развитие на научните изследвания, технологиите, инженерно-внедрителската и приложната дейност в областта на НТ и новите наноматериали.

В Националния координационен съвет по нанонаука и нанотехнологии, СУ „Св. Кл. Охридски“ и ХТМУ, София, са разработени пакети от учебни планове и програми за обучение в магистърска степен по НТ, наноматериали и НЧ и докторантури в областта на нанонауката и нанотехнологиите.

14. Развитие на нанотехнологичните изследвания

В таблица 13 са показани тенденциите за развитие на нанотехнологичните изследвания в някои европейски страни. За разлика от САЩ, които разработват обширна и подробна програма за нанотехнологични изследвания, европейските страни избраха стратегия на независимо развитие.

На таблица 14 са показани сравнителни данни за финансирането на нанотехнологичните изследвания в различни страни.

Таблица 14. Нарастване на средствата за изследвания в областта на НТ в различни страни

Страна или регион	Официални бюджетни субсидии (в млн. долари)			
	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.
Европа (ЕС + Швейцария)	128	165	200	225
САЩ	116	255	270	422
Япония	120	157	250	420
Австралия, Канада, Китай, Корея, Сингапур,	70	–	110	200
Тайван, страни от СНД				
Общи разходи	434	577	830	1267

15. Заключение

Фактът, че през 2004 г. Европейският съюз и правителствата на САЩ и Япония инвестираха по над \$900 млн. за развитие на нанонауката и НТ, показва че XXI век се оформя като век и на НТ. По-смели проучвания твърдят, че през 2014 г. общите приходи от НТ ще надхвърлят тези от информационните технологии и телекомуникациите, взети заедно. Понастоящем в тази област работят над 600 компании (включително гиганти като Intel, IBM, Samsung, Mitsubishi и др.), а за постижения в нея са присъдени повече от 10 Нобелови награди.

Нанонауката и нанотехнологиите се развиват на границата на редица считани по-рано независими науки и технологии (информационни технологии, електронна техника, биохимия, физика, химия и т.н.), което предопределя техния интердисциплинарен характер. Нанотехнологиите са ярък пример за триумфа на интердисциплинарния подход при тяхното реализиране в почти всички сфери на човешкия живот.

Литература

1. Н. Копринаров, М. Константинова, Светът на физиката 1 (2003) 1.
2. M. C. Roco, R. S. Williams, P. Alivisatos (Eds.), Nanotechnology Research Directions: IWGN Report, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 2000.
3. Н. Кобаяси, Введение в нанотехнологию, БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва, 2005.
4. P. J. F. Harris, Carbon Nanotubes and Related Structures, University Press, Cambridge, 1999.
5. D. M. Guldi (Ed.), Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures, Marcel Dekker, New York, 2004.
6. G. P. Vissokov, Plasmananotechnologies – Nanopowders: Preparation, Properties and Applications, St. I. Rilski Publ. House, Sofia, 2005.
7. G. P. Vissokov, Bulg. Chem. Ind. 74 (2003) 1.
8. G. Vissokov, Ts. Tzvetkoff, Eurasian Chem. Tech. J. 5 (2003) 201.
9. Г. П. Високов, П. С. Пиргов, Ултрадисперсни прахове – плазмохимично получаване и свойства, Политринт, София, 1998.
10. Г. П. Високов, Г. И. Грънчаров, Т. Попова, Теория и практика на нанотехнологиите, ч. 1. Високотемпературни технологии, Изд. „Св. Ив. Рилски“, София, 2004.
11. С. А. Непийко, Физические свойства малых металлических частиц, Наукова думка, Киев, 1985.
12. Ю. И. Петров, Физика малых частиц, Наука, Москва, 1982.

Nanotechnologies – presence and future

G. Vissokov

*Institute of Electrochemistry and Energy Systems,
Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria
E-mail: vissokov@abv.bg*

Abstract

A brief description is given of the development and applications of nanotechnologies and nanomaterials in some key industries, such as electronics, microelectronics, communications, nano-devices, sensors, aviation and space industries; chemical industry and power industry (nanocatalysts, and nanocatalysis, hydrogen storage and fuel cells, artificial photosynthesis, energy efficiency, energy storage); fabrication of consolidated nanostructures (ceramic nanomaterials, nanostructure coatings, production of low-combustibility plastics, nanostructured hard materials, nanostructures with colossal magnetic resistance); fabrication of ultra-high strength carbon fibres; nanotechnologies for environmental protection (adsorption of heavy metals by self-ordered and self-organised nanostructure ensembles, photocatalytic purification of liquids, fabrication of mesoporous materials, application of nanoporous polymers for water purification, nanoparticles and environment); medical applications; military applications and fight against terrorism; household applications, etc.

Keywords: Nanotechnologies; Nanoscience; Chemical industry; Electronics; Sensors; Aviation and space industries; Hydrogen storage and fuel cells, Environmental protection