

Nanotechnológie

1. Úvod

Richard Feynman, držiteľ Nobelovej ceny za fyziku, v roku 1959 prehlásil: "Zákony fyziky síce neodporujú myšlienke vytvárať objekty atóm po atóme, ale my sami sme 'príliš veľkí', aby sme boli schopní niečo takého uskutočniť." Feynman bol prvý človek, ktorý spomenul myšlienku nanotechnológií. Čo je to teda nanotechnológia?

Nanotechnológia je vedný odbor, ktorý sa zaoberá presnou a zámernou manipuláciou hmoty na úrovni atómov.

Všetky veci okolo nás sú vytvorené z atómov a vlastnosti týchto látok závisia na tom, ako sú vlastné atómy v tej ktorej látke usporiadané. Keď preorganizujeme atómy v kúsku uhlia, môžeme dostať diamant. Ak určitým spôsobom preusporiadame atómy v piesku (a pridáme niekoľko ďalších stopových prvkov) môžeme vyrobiť počítačový čip. Keď správne zoradíme atómy prachu, vody a vzduchu môžeme dostať trebárs zemiaky...

Avšak dnešné výrobné metódy na makromolekulárnej úrovni sú veľmi hrubé a surové, náš svet je makroskopický, teda i naše produkty sú vyrábané makroskopicky. Makroskopické a dokonca i mikroskopické rozmery nám ale prestávajú stačiť, nastupujú nano rozmery a s nimi nanotechnológie. V budúcnosti by nám práve nanotechnológie mali dovoliť vyvinúť novú generáciu produktov, ktoré budú odolnejšie, ľahšie a bez nežiadúcich prímiesí.

Nanotechnológie by nám teda v budúcnosti mali dovoliť:

- Umiestniť v podstate každý atóm na 'správne' miesto.
- Vytvoriť akúkoľvek chemickú štruktúru a to na atomárnej úrovni.
- Znížiť výrobné náklady skoro až na cenu samotného materiálu.

S nanotechnológiami je spojená ešte myšlienka samoreplikácie a samoreplikujúcich sa výrobných systémov, ktorou sa zaoberal už von Neumann okolo roku 1940. Tieto systémy by mali byť schopné ako výroby užitočných produktov tak replikácie samých seba. Najväčšou výhodou takýchto mechanizmov by boli veľmi malé náklady na zabezpečenie ďalších kópií týchto systémov, pretože keby sme dokázali postaviť jeden jediný takýto stroj, potom by sa už on sám podieľal na výrobe identických kópií.

Ďalším obrovským lákadlom nanotechnológií je aj predpokladané zníženie exhalácií a znečisťovania životného prostredia obecné, ak totiž budeme schopní konštruovať zariadenia "zospodu" atóm po atóme, potom už nebudeme produkovať žiadne splodiny a odpady. Dr. Smalley, držiteľ Nobelovej Ceny z roku 1996 a objaviteľ molekuly karbónu 60, prehlásil: "Nanotechnológie zvrátia škody napáchané industriálnou revolúciou."

V súčasnej dobe existuje asi na 400 firiem angažujúcich sa v oblasti výskumu a vývoja nanotechnológií s ročným rozpočtom približne 5 miliárd dolárov, predpokladá sa, že táto suma vzrastie v roku 2005 na 120 miliárd.

Je tiež dôležité poukázať na to, že slovo nanotechnológia sa stalo veľmi populárnym a používa sa pre popis mnohých výskumov a technológií, kde sú charakteristické rozmery menšie než 1 000 nanometrov.

2. Výskum a obory použitia nanotechnológií

Výskum na poli nanotechnológií zahrňuje mnoho odvetví (chemická a materiálová syntéza, molekulárna genetika, výskum enzýmov a bielkovín, biomateriály....atď.), výsledky dosiahnuté napr. pri výskume supravodičov, biokompatibilných membrán alebo nanosenzorov majú nemalý vplyv i na odvetvia, ktoré s nimi vzdialene nesúvisia.

Oblasti vývoja a výskumu nanotechnológií:

Chemická a materiálová syntéza

- nanokryštály
- chemické katalyzátory
- supravodiče
- fullerény
- supramolekulová chémia
- samsoporiadavajúce a samoorganizujúce sa systémy
- polyméry o tekuté kryštály
- kompozity a keramika
- biomateriály, bielkoviny

Návrh a výroba nanoštruktúr

- nanorobotika
- nanooptika
- nanoelektronika
- nanooptoelektronika
- nanomechanika

Počítačová a teoretická nanotechnológia

- kvantové počítače
- informačné systémy
- umelá inteligencia

Nanotechnologické nástroje a zariadenia

- vývoj a návrh nanozariadení
- počítačové simulácie
- molekulárne modelovanie, vizualizácie a virtuálna realita

Lekárske a biotechnologické obory

- lekárska diagnostika, biosenzory
- bioimplantáty
- kryonika
- biočipy

Dr. Sumio Iijima z NEC's Tsukuba Research Laboratories v roku 1980 objavil a popísal nový druh sférickej uhlíkovej štruktúry, následne na to v roku 1985 výskumníci v Rice University v USA objavili Carbon-60. Tento materiál nazývaný fullerén má tvar presnej gule a je obdarený veľmi zaujímavými fyzikálnymi a materiálovými vlastnosťami, ktoré ho stavajú zatiaľ na prvé miesto v oblasti nanotechnologicky využiteľných materiálov.

Uhlíkové nanotrúbice (carbon nanotubes), prvý krát vyrobené v roku 1991, sú taktiež príkladom úspešného bádania na poli nanotechnológií. Nanotrúbice sa dajú použiť pri konštrukcii senzorov, ako časti nanorobotov alebo ako potenciálne miniatúrne vodiče. Pomocou technológie výroby nanotrúbic je možné tiež vytvárať veľmi presné miniatúrne otvory alebo tiež pokrývať materiál tenkou vrstvou častíc (filmom), napríklad za účelom zníženia trenia alebo zvýšenia odolnosti styčných plôch materiálu.

Základnými stavebnými prvkami nanozariadení sú teda v súčasnej dobe objekty na báze uhlíka a jeho zlúčenín, ide všetko o štruktúry a molekuly, ktoré obsahujú rádovo jednotky až desiatky atómov. Z toho je jasné, že na výrobu zariadení "atóm po atóme" si budeme musieť ešte nejakú dobu počkať, ale aj tak je už teraz prínos nanotechnologických výskumov obrovský, zvlášť v medicínskych a biotechnických zameraných oboroch.

3. Medicínske nanotechnológie a genetické techniky

Dôležitá časť medicíny a lekárskej starostlivosti sa odohráva na mikroskopickej a molekulárnej úrovni, na tej úrovni, kde sa práve výsledky nanotechnologického výskumu môžu skvele uplatniť. Pomoc pri diagnostike, bioimplantáty, možné liečebné schopnosti nanorobotov, to je uplatnenie nanotechnológií v modernej medicíne. Asi najväčším nano "hitom" v medicíne sú lekárske nanoroboty o veľkosti do 1000 nm, ktorí by sa vo veľkom injektovali do ľudského tela. (Niekoľko miliárd nanorobotov rádovo zodpovedá 1cm³.) Tam by títo nanoroboty mohli pomáhať imunitnému systému, podieľať sa na procesoch látkovej výmeny, prevádzať nejaké 'opravné' úkony, prípadne sa zhlukovať do väčších celkov (rádovo do veľkosti 0.5 - 3 mikrónov) a vytvárať zložitejšie a výkonnejšie systémy.

3.1. Biosenzory a lieky

Výsledky nano výskumov v biotechnológii sa už teraz využívajú v konštrukcii biosenzorov.

Napríklad vo firme Lockheed sa pracuje na výrobe "telektródov", to sú malé elektronické zariadenia obsahujúce senzory, batériu, a vysielateľ. Typický telektród je doštička asi 2.5 cm dlhá a 1cm široká, môže byť umiestnená na akomkoľvek mieste na tele a poskytuje dlhodobý biolekársky monitoring a to bez obmedzenia pohybu.

Farmaceutický priemysel je prvé odvetvie, kde sa začali komerčne využívať výsledky nanotechnologických manipulácií, menšie než mikrónové technológie tu poskytujú možnosť tvorby nových, v budúcnosti i nie nutne biochemických, liekov a to všetko vo väčšom množstve a s menšími nákladmi. Celkový obrat vo farmaceutickom odvetví bol len za rok 2002 - 285 miliárd dolárov! Pri ročnom priemernom vzraste o 4.6% to v roku 2004 bude zhruba 310 miliárd dolárov obratu v jedinom odvetví za rok. Tak gigantický trh si už môže dovoliť financovať materiálovo a časovo náročný výskum, ktorý však vo svojom výsledku povedie k ďalšiemu rastu tohoto odvetvia.

3.2. Kryonika

Kryobiológia a kryonika sú vedné odbory, ktoré sa zaoberajú možnosťami uchovania a konzervácie tkanív, tak, aby v budúcnosti bolo možné tieto tkanivá nejakým spôsobom opäť použiť. Príkladom takých manipulácií môže byť zmrazovanie embryí, krvi a krvných derivátov, či podchladzovanie orgánov za účelom predĺženia času medzi vybratím tohto orgánu a jeho transplantáciou. Asi najlákavejším možným prínosom samotnej kryoniky je to, že sa zaoberá procesmi zmrazovania a konzervácie práve zomrelých osôb v nádeji, že v budúcnosti budú opäť privedení k životu.

A tu opäť nastupuje nanotechnológia. Počíta sa, že práve neskoršie oživovanie a "opravovanie" tkanív budú prevádzať nanoroboty, pri súčasnom rozvoji technológií by to snáď mohlo byť možné niekedy koncom 21. storočia.

Zatiaľ sa pre toto zmrazovanie (kryonický spánok) používa tekutý dusík, pričom celý proces prebieha po určitých krokoch a môže trvať až niekoľko dní, najdôležitejšie však je, aby ešte pred započatím zmrazovania nedošlo k informačnej smrti organizmu. Boli už prevedené úspešné pokusy na psoch a opiciach, kedy tieto boli podchladené, boli im pozastavené biologické funkcie a po niekoľkých hodinách boli opäť oživené, čo naznačuje, že zmrazenie a opätovné oživenie človeka by nemuselo byť utópiou.

3.3. Biomembrány a biočipy

Pripojiť počítačový čip k živej bunke nie je vôbec jednoduché, samotné živé bunky sú príliš klzké, amorfné a nie je možné ich nijak spojiť s pevným povrchom čipu, preto sa pre tieto prepojenia používajú biointerfejsy a rôzne mikroskopické membrány.

Traja výskumníci zo Stanford University v čele s profesorom Stevenom Boxerom vytvorili syntetickú bunečnú membránu, ktorá slúži ako prepojovacia vrstva medzi bunkou a čipom. Pomocou krátkeho elektrického impulzu sa membrána prichytí na patričné zakončenia čipu, živé bunky sa sami prichytia z druhej strany v domnení, že sa pripojujú k inejlivej bunke. Už teraz sa dajú výsledky výskumu využiť napr. pri laboratórnych testoch, membrána s čipom je schopná detekovať rakovinové bunky alebo môže dobre poslúžiť pri testoch HIV pozitivity.

Na základe objavu tejto membrány bol tiež profesorom University in Raleigh, N.C., Wentainem Liu a očnými špecialistami v John Hopkins University skonštruovaný prvý čip so svetelnými senzormi, ktorý umožňuje slepým pacientom rozpoznať zdroje svetla a umožňuje im, aj keď v obmedzenej miere, vnímať obrysy predmetov. Čip, ktorý je situovaný v blízkosti očného nervu, vysiela smerom k nervu elektrické pulzy úmerne dopadajúcemu svetlu. Až bude možné pripojiť tento čip priamo na očný nerv, komunikácia s nervom sa ešte zlepší. Dr. Liu pokladá toto riešenie za veľmi elegantné a tvrdí, že je to ďalší významný krok v obore bioniky smerom k prepojovaniu človeka a umelých zariadení.

Na to britskí vedci ohlásili 18. júla 1996, že pamäťový čip, ktorý by bol schopný uchovávať ľudské myšlienky a skúsenosti bude dostupný do tridsať rokov. Tento "Soul-Catcher" čip bude napojený na zrakový a ďalšie nervy, bude slúžiť ako pamäťový čip a bude zaznamenávať zmyslové pocity ako je vôňa, obraz a zvuky a to vo forme mozgových, neurónových impulzov, ktoré bude možné neskôr prehrať do počítača. Ľudia teda budú schopní znova prežiť vlastné zážitky alebo neskôr preniesť svoju pamäť do mozgu iného človeka.

Jednoduchý silikónovo-synaptický interface, nutný pre prepojenie čipu s okolím, bol už pred časom predvedený, je postavený na inom riešení než biomebrána zo Stanford University a zatiaľ funguje len za určitých laboratórnych podmienok, jeho demonštrácia je viazaná na použitie špeciálnych extra veľkých nervových buniek. Zatiaľ prebieha výskum čipov pre záznam čuchu, sluchu, hmatu a ďalších zmyslov oddelene, avšak do tridsiatich rokov by malo byť možné vytvoriť kompletný "Soul-Catcher" čip, pričom asi najväčším problémom pre vedcov bude prístup k jednotlivým senzorum, nachádzajúcim sa v koži človeka. Najďalej sú vedci s výskumom napojenia rozhrania v oblasti styku sietnice a samotného očného nervu, čo je technicky najjednoduchšie, avšak dúfajú že behom ďalších rokov by sa snád' mohlo podať napojiť interface priamo na milióny vlákien obsiahnutých v samotnom zväzku očného nervu. Kombinácia výsledku tohoto projektu spolu s úplnou znalosťou ľudského genómu dáva veľké predpoklady pre ďalší výskum možnosti znovuoživenia človeka či jeho celkovej rekonštrukcie. Len British Telecom do tohoto projektu zatiaľ investoval 31 miliónov dolárov.

3.4. DNA čipy a DNA počítače

Počítače postavené na báze DNA namiesto bežných kremíkových čipov sa stávajú skutočnosťou. Už boli urobené pokusy na základe ktorých bol postavený pokusný model, ktorý "vie" sčítať dve čísla. Výpočet prebieha v dvojkovej sústave a je postavený na "komunikácii" reťazcov DNA tak, že dochádza k prenosu "informácie". Jedná sa de facto o zret'azenie molekúl DNA, ktorým je priradená logická "1" alebo "0", existujú dva reťazce pre tú istú logickú hodnotu, pričom jeden z nich obsahuje zvláštnu sekvenciu, ktorá reprezentuje prenos do vyššieho rádu (carry).

Nevýhodou zatiaľ je, že tieto modely biochemických počítačov zatiaľ pracujú rovnako lineárne ako ich silikónoví bračekovia, pred začiatkom nasledujúcej operácie už musí byť známy výsledok predchádzajúcej. Zdá sa však, že tento problém by mohol byť v budúcnosti odstránený konštrukciou zložitejších super-systémov, pracujúcich na základe biologického paralelizmu.

Iný spôsob využitia čipov postavených na báze znalostí DNA je detekcia mutácií a informácií obsiahnutých v génoch. Na niečom podobnom pracuje firma Affymetrix, ktorá vyvinula DNA čip, ktorý je schopný "čítať" genetickú informáciu a rozpoznať rôzne mutácie. Dr. Arnold J. Levine, odborník na liečbu rakoviny z Princeton University, k tomu poznamenal, že tieto čipy, monitorujúce tisíce génov naraz, môžu veľmi dobre poslúžiť v boji proti rakovine a ďalším

geneticky podmieneným chorobám. Firma už tiež ponúka špeciálne upravené zákaznicke čipy, ktoré dokážu vysledovať mutácie vo víroch spôsobujúcich AIDS, ďalšie podobné čipy potom rozpoznávajú zmeny v géne p53, ktorý spôsobuje niektoré druhy rakoviny.

Hlavnou myšlienkou čipov je porovnanie chemickej informácie obsiahnutej v DNA s nám už známou informáciou o jej štruktúre. Čipy sú tvorené plôškou špeciálneho skla, veľkosti mince, sčasti zapuzdrenej do plastového plášt'a. Na povrchu skla sú miniatúrne koberce z vlákien DNA so známou štruktúrou. Gén, ktorý sa má testovať, sa rozdelí na fragmenty, pokryje fluorescentnou látkou a injektuje sa na sklenenú doštičku, potom s laserovým lúčom prečíta výsledok. Tam, kde reťazce génov "zapadli" do koberca z vlákien DNA, sa menia svetelné parametre a na základe znalostí vlákien obsiahnutých v samotnom čipe je už možné určiť sekvencie alebo poradie DNA v cieľovom géne.

Šéf genetického vývoja firmy Dr. Lockhart potvrdil, že už je k dispozícii čip, ktorý rozpozná 6500 ľudských génov, ktorých sekvencie boli už plne opísané a v dohľadnej dobe sa plánuje výroba čipu, ktorý by bol schopný detekovať až 50000 ľudských génov. Nesmiernou výhodou pre konštruktérov týchto čipov je centrálna genetická banka, kde sa ukládajú výsledky výskumov všetkých laboratórií, ktoré sa zameriavajú na dekodovanie ľudských génov. Pomocou počítača a internetu sú teda výrobcovia čipu schopní ihneď vložiť do čipov najnovšie dekodované sekvencie ľudského genómu.

Jednomolekulový čip od IBM

Spoločnosť IBM oznámila, že sa jej podarilo vyvinúť prvý logický obvod, ktorého základom je iba jediná molekula. Základom tejto nanotechnológie sú uhlíkové trubičky približne 100 000 krát tenšie než ľudský vlas.

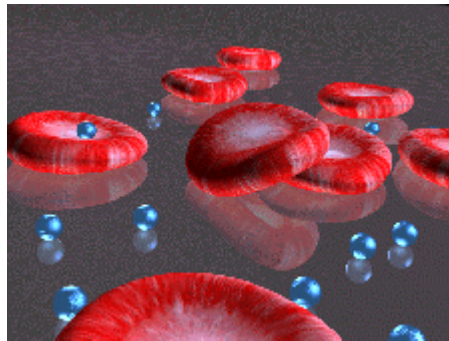
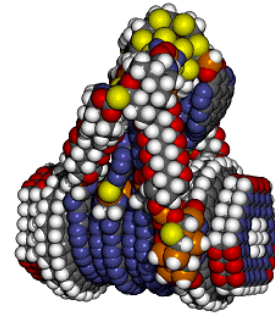
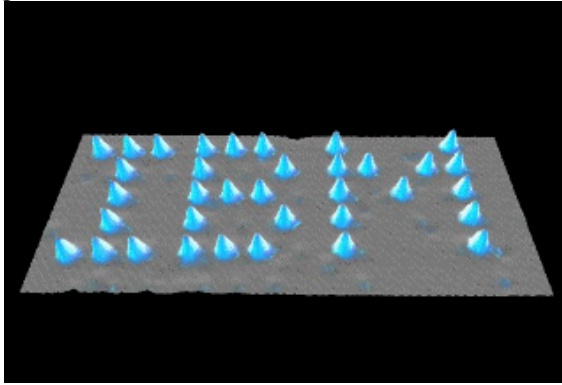
Základom čipu je v tomto prípade uhlík, respektíve jeho grafitová modifikácia. Tá podľa okolností môže pracovať ako vodič alebo polovodič. V rámci prípravy tranzistoru sa pritom môže jedna časť nechať "spáliť" účinkom elektrického prúdu v kyslíkovej atmosfére a zostane len štruktúra s vlastnosťami polovodiča.

Rovnaký tím, ktorý dokázal vytvoriť uhlíkový čip, teraz pokročil až k hradlu typu NOT, čo je vlastne invertor napätia, ktorý "prevráti" hodnotu zadanú na vstupe.

Podrobnosti o tejto technológii sa dajú nájsť na stránke <http://researchweb.watson.ibm.com/>, eventuálne na servere Americkej chemickej spoločnosti (<http://pubs.acs.org/>).

Informačné zdroje:

- Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation by K. Eric Drexler
- Engines of Creation by K. Eric Drexler
- časopis Živel č.5.
- <http://nano.xerox.com/nano>
- <http://planet-hawaii.com/nanozine/> - Nanotechnology Magazine
- <http://www.foresight.org/> - Foresight Institute - Nadnárodná nanotechnická organizace
- <http://www.asiapac.com/EnginesOfCreation> - Online verze knihy "Engines of Creation"



Prvý obrázok ukazuje nápis IBM tvorený atómami xenónu na niklovej podložke.
Modely nanomechanizmov na molekulárnej úrovni.
Medicínske nanoroboty - nano-dávkovače liekov v porovnaní s červenými krvinkami.