

Úvod do problematiky nanotechnologií

(Roman Kubínek a Vendula Stránská)

Žijeme v 21. století, v době, která nám nabízí nejrůznější možnosti technického rozvoje od aplikací výpočetní techniky, přes moderní léčebné metody až po cestování do vesmíru. Dokonalejší a výkonnější technika se vyvíjí s tím, jak se rozšiřují hranice poznání člověka. Od poloviny 20. století se stala aktuální oblast nanotechnologií, která pracuje s nanostrukturami a snaží se sestrojít zařízení na molekulární úrovni, tak jak to od pradávna dělá samotná příroda.

Cílem tohoto příspěvku je předložit souhrnný přehled dosavadních poznatků v oblasti nanotechnologií. Vzhledem k dynamice celého vývoje je však třeba chápat tento text pouze jako úvod do problematiky nanotechnologií.

1. Počátky nanotechnologií

Jedním z prvních průkopníků této vědní disciplíny byl americký vědec a nositel Nobelovy ceny za fyziku Richard Philips Feynman. Ve své přednášce *There's Plenty of Room at the Bottom* (Tam dole je spousta místa) v roce 1959 se ptal: " Proč ještě neumíme zapsat všech dvacet čtyři svazků Encyklopedie Britanniky na špendlíkovou hlavičku? ". V přednášce zmínil možnost manipulace s molekulami a atomy. Tehdy nazýval tento obor mikrotechnologií. Na jeho počest je každoročně udělována Feynmanova cena za přínos v oboru nanotechnologie.

Termín nanotechnologie se objevil později v roce 1974. Japonský fyzik Taniguchi jím označil novou měřicí metodu, která umožňovala výrobu součástek s přesností na nanometry. V 70. letech na tyto myšlenky navázal americký fyzik K. E. Drexler. Ve svém článku o molekulárním inženýrství navrhl využít proteiny jako základní stavební kameny. Současně upozornil na pozitivní i negativní stránky molekulární nanotechnologie. Ve své knize "Stroje stvoření - nástup éry nanotechnologie" z roku 1986 popisuje svět miniaturních systémů, nanorobotů, kteří by se chovali podobně jako živé organizmy, měli by schopnost reprodukce, vzájemné komunikace a sebezdokonalování. Tyto "neuvěřitelné" představy dál rozvíjel americký fyzik Timothy Leary. Podle něj nanotechnologie jednou umožní například vytvořit z prachu a slunečního svitu předmět. Ve své době byly tyto myšlenky považovány spíše za science fiction.

V druhé polovině 20. století probíhaly výzkumy orientované na poznávání vlastností základních stavebních prvků hmoty a jevů projevujících se na atomové a

molekulární úrovni. Hlavní zájem byl tedy orientován na poznání způsobů, jakými příroda vytváří rozmanité struktury. Jedním z nejvýznamnějších objevů 80.let se staly přístroje na pozorování a manipulaci s atomy a molekulami - rastrovací tunelový mikroskop SPM a mikroskop atomárních sil AFM. Pokrok šel stále více dopředu, od výroby čipů velké integrace s rozměry 100 nm, přes obrábění povrchů s přesností na nanometry, až po využití nanostruktur v medicíně a biotechnologiích. A tak se zrodil nový interdisciplinární obor - nanotechnologie.

2. Pojem nanotechnologie a jejich rozdělení

Hovoříme-li o *nanosvětě*, máme na mysli oblast částic a struktur, které se rozměrově pohybují v intervalu mezi 1 nm až 100 nm. Označujeme je jako nanostruktury a považujeme je za základní stavební jednotky nanomateriálů. Zkoumáním jejich vlastností se pak zabývá *nanověda*. Její hranice se však nedá zcela přesně vymezit. Zahnuje oblasti fyziky pevných látek, chemie, inženýrství i molekulární biologie.

Nanotechnologií bychom tedy mohli definovat jako interdisciplinární a průřezovou technologii zabývající se praktickým využitím nových a neobvyklých vlastností nanomateriálů pro konstrukci nových struktur, zařízení a vytváření materiálů.

S tím souvisí jejich praktické využití k tvorbě látek specifických vlastností. Nejedná se o zcela nový vědní obor, nýbrž o novou oblast soustřeďující klasické vědní obory.

Lidé objevili svět nanotechnologií teprve v polovině 20. století, ale příroda toto tajemství zná a používá už celá tisíciletí při tvorbě živé a neživé přírody. Většina životních procesů probíhá v nanorozměrech. V tomto smyslu se pro vědu stává příroda nesmírně bohatým zdrojem inspirací, a proto soustřeďuje svůj zájem na vytváření struktur podobných vlastností, které pak uplatní ve všedním životě. Příkladem takových přírodních nanotechnologií může být biomineralizace či stavba chromozomu s molekulami DNA, sloužící jako velkokapacitní paměť nanometrických rozměrů. Vědní disciplína zabývající se využitím biomateriálů, či vytváření zařízení na biologických principech, nazýváme biomimetika, resp. bionanotechnologie.

V současné době lze rozdělit nanotechnologie do osmi hlavních oblastí:

I. *Nanomateriály* :

- nanoprášky, nanočástice,

- kompozitní materiály obsahující nanočástice,
- materiály s uhlíkovými trubicemi nebo fullereny
- tenké vrstvy,
- nanostrukturní kovy a slitiny, nanokeramika,
- polymerní nanokompozity, polymerní nanomateriály

II. Nanotechnologie pro ukládání a přenos informací, mikro a nanoelektronika:

- nanoelektronika, materiály a zařízení,
- optoelektronika (fotonika),
- optické materiály a zařízení,
- magnetické materiály a zařízení, spintronika,
- organická fotonika,

III. Nanobiotechnologie, nanomedicína:

- zapouzdřování léků,
- cílená doprava léků,
- tkáňové inženýrství,
- biokompatibilní materiály a vrstvy,
- molekulární analýza, analýza DNA,
- biologicko-anorganické rozhraní a hybridy,
- diagnostika, molekulární rozpoznávání.

IV. Nanotechnologie pro aplikaci v senzorech:

- senzory využívající nanomateriály
- biomolekulární senzory.

V. Nanotechnologie pro (elektro) chemické technologie zpracování:

- filtrace,
- katalýza nebo elektrody s nanostrukturními povrchy,
- chemická syntéza, supramolekulární chemie.

VI. Dlouhodobý výzkum s širokou aplikací:

- samosestavování (self-assembly),
- kvantová fyzika, kvantové jevy v nanorozměrech,
- nano a mezoskopické systémy,

- chemické materiály, nanochemie,
- ultra-přesné inženýrství.

VII. Přístroje a zařízení, výzkum a aplikace technologií:

- analytické přístroje, metody techniky a zkoumání,
- výroba prášků (nanočástic) a jejich zpracování,
- zařízení a metody pro vytváření objektů (patterning , vytváření vláken apod.),
- ultra-přesné obrábění, nanometrologie.

VIII. Zdravotní, ekologické a sociální aspekty nanotechnologie:

- toxicita nanočástic,
- ekologické aspekty,
- sociální a etické aspekty,
- standardizace,
- patentování,
- prognózy,
- popularizace nanotechnologie,
- obchod s nanovýrobky.

3. Výzkum a aplikace nanotechnologií

Nanotechnologie mají široké spektrum oblastí využití. Obecně se dá říct, že se týká všeho, co je kolem nás. Nanotechnologie sice patří k novým vědním disciplínám, ale některé její metody uměl člověk používat už mnohem dříve, aniž by si je uvědomoval. Patří mezi ně techniky využití nanočástic. Například ve středověku používali skláři jako přísady prášky různých kovů a látek pro dosažení zajímavého barevného efektu skla. Jednalo se především o zlato, stříbro, síru a selen. Bylo zjištěno, že tyto látky se ve skle vyskytují ve formě nanokrystalů. Kovových nanokrystalů se též využívalo pro vytvoření lesku glazové keramiky ve 13. – 16. století. Dalším příkladem je použití sazí jako plniva při výrobě pneumatik. Jedná se o částice amorfního uhlíku o rozměrech 10 – 500 nm.

V současnosti se nejvíce dotýká a realizuje v oblasti materiálů, chemie, zdravotnictví, informační a komunikační technologie, energetiky a péče o životní prostředí.

4.1. Nanomateriály

Nanočástice, nanovrstvy

V oblasti nanomateriálů se využívají především částice ve formě nanoprášků. Jedná se např. o nanoprášky TiO_2 a ZrO_2 používané v kosmetických krémech, pleťových vodách a opalovacích krémech. S přísadou nanočástic TiO_2 se vyrábějí laky s reflexními vlastnostmi. Výrobce skel použili TiO_2 v podobě nanočástic pro optimální zatmavení. Sklo je dokonce schopné odrážet dobře sluneční paprsky.

Nanočástice Fe_2O_3 se používají jako základní přísada do rtěnek a líčidel (UV filtr). Tento prášek lze též použít pro detoxikaci kontaminovaného území.

V „Centru pro výzkum nanomateriálů (CVN)“ na Univerzitě Palackého v Olomouci se zkoumají metody syntézy nanočástic oxidů železa pomocí termicky indukovaných reakcí v pevné fázi, včetně příprav vzácných strukturních forem, jako jsou amorfní Fe_2O_3 , β - Fe_2O_3 a ϵ - Fe_2O_3 , s předem požadovanými vlastnostmi. Řeší se zde i otázka aplikací nanomateriálů (nanočástic) např. jako barevné pigmenty pro přípravu průmyslových barviv či jako přísada do barevných skel, jako katalyzátory pro řadu chemických reakcí, magnetická záznamová média či počítačové paměti. Katalytické vlastnosti nanoprášku Fe_2O_3 se dají využít v raketovém, vojenském průmyslu a automobilovém průmyslu při konstrukci dokonalejších airbagů. Mimo jiné se zde vědci věnují rozvoji analytických a měřících metod pro výzkum nanotechnologií. Magnetické vlastnosti se dají využít v lékařství v nových metodách filtrování, detoxikace tekutin a krve, nebo jako kontrastní činidla pro tělní orgány při zobrazování metodou magnetické rezonance (MRI).

Vědci pokryli nanočásticemi SiO_2 povrch skla. Přítomnost nanočástic zabraňuje srážení vody na skle, a tím zůstává stále suché a „nepotí se“. Speciální vlastnost takto upraveného skla se dá využít např. pro skla automobilů, brýlí či u koupelnových zrcadel. Na trh byly uvedeny obkladačky s povrchovým filmem z nanočástic, na nichž se nadržuje voda ani špína.

Na řezné nástroje či některé části strojů se nanášejí nanostrukturní povlaky. Nanovrstva chrání nástroj před oděrem, opotřebením, či povolením šroubu apod. Pro tento účel se používají vrstvy z uhlíku, jež mají senzorické vlastnosti. Působí-li na ně tlak či síla, mění se jejich elektrický odpor. Toho lze využít pro diagnostiku a kontrolu strojů. Např. uvolní-li se šroub, vyšle uhlíková vrstva jeho podložky signál do řídicího elektronického systému.

Nanočástice jsou využívány pro leštění optických materiálů a elektronických substrátů (např. Si, GaAs). Nanočástice karbidu křemíku, diamantu a karbidu bóru se používají pro lapování součástek (velmi přesné leštění) s cílem omezit vlnitost povrchu na 1- 2 nm. Výroba těchto součástek s vysoce kvalitními povrchy mají velký význam pro miniaturizaci elektronických zařízení a rozvoj optoelektronických systémů.

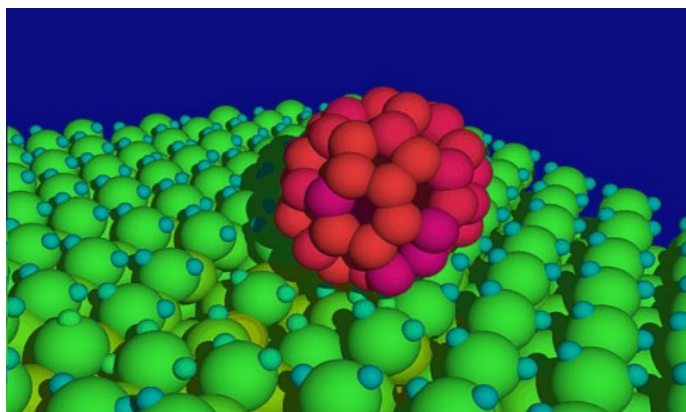
Nejvýznamnější využití nanomateriálů najdeme v oblasti informačních technologií při výrobě křemíkových tranzistorů, která používá řízené depozice vrstvených struktur pouze několik atomů tenkých přibližně 1 nm. Laterální rozměry kritické délky hradla tranzistoru dosáhly 180 nm a podařilo se některým výrobcům dosáhnout hodnoty 90 nm. Čím je délka hradla kratší, tím lze vytvořit menší, rychlejší a energeticky účinnější tranzistory. S tím souvisí také zlepšení výkonnosti digitálního zařízení a snížení jeho ceny.

Další využití vrstvených heterostruktur nalezneme u čtecích hlav standardních harddisků. Přítomnost nanostruktur je příčinou vzniku velkého magnetického odporu, který významně zvyšuje jejich paměťovou kapacitu a snižuje jejich cenu.

Fullereny, uhlíkové trubičky, nanopěna

Začátkem 90. let byly objeveny kulovité uhlíkové molekuly, tzv. fullereny, které nastartovaly koncepci nanotechnologií. Fullereny byly objeveny britským profesorem Harrym Krotoem a americkým fyzikem Richardem Smallym. Použili k tomu grafitový disk, který odpařovali laserem, páry chladili v proudu hélia, a pak měřili jejich spektra. V nich vyčetli přítomnost stabilních velkých molekul o složení C_{60} a C_{70} . Za tento objev dostali Nobelovou cenou za chemii.

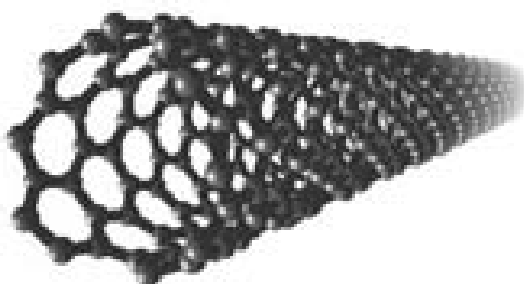
V molekule C_{60} je šedesát atomů uspořádáno pravidelně na povrchu jedné společné koule. Z obr. 1 je vidět, že vazby mezi atomy uhlíku vytváří na povrchu koule vzor jako u fotbalového míče. Název fullereny právě pochází od tohoto seskupení podle amerického architekta R. Buckminstera Fullera, který podobný typ struktur používal při stavbě výstavních hal.



Obr. 1 Fulleren C_{60} - počítačem vytvořený obrázek

Postupně byla zvládnuta výroba těchto molekul a zájem byl soustředěn na zkoumání jejich vlastností, a to jejich supravodivost, tvrdost (někdy větší než diamant), magnetické chování a léčivé účinky chemických derivátů fullerenů.

V roce 1991 Japonci zjistili, že lze vyrobit i fullereny válcového tvaru. Jsou to velmi dlouhé a úzké čistě uhlíkaté nanotrubičky, které mohou vykazovat mechanickou pevnost 50 až 100 krát vyšší, než má podstatně těžší ocel. Mohou vést elektrický proud i teplo, je to dosud nejperspektivnější materiál, který mají nanotechnologie k dispozici. Ukázalo se, že některé nanotrubičky se mohou chovat jako polovodiče, což vedlo k vytvoření molekulárního tranzistoru, který funguje za pokojové teploty. Tím byla otevřena cesta molekulové elektronice, miniaturizaci výpočetní techniky a zvýšení rychlosti počítačů.

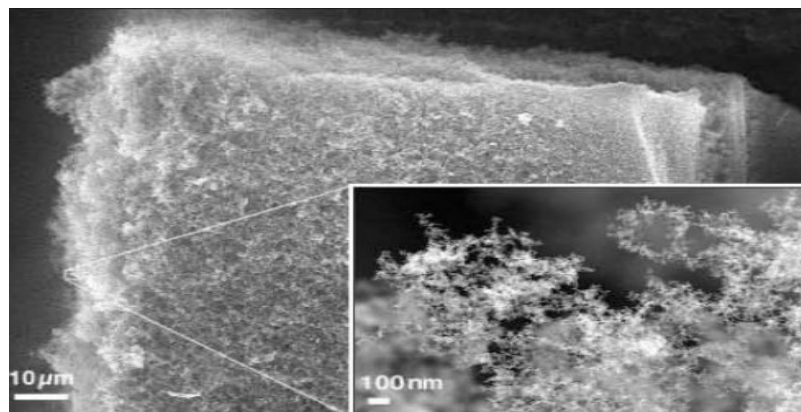


Obr. 2 Model nanotrubičky

Ve výrobě nanotrubek v současnosti došlo k velkému pokroku. Podařilo se vytvořit trubičku s délkou 4 cm. Nanotrubičky mohou změnit i oblast úschovy energie a vést k rozvoji alternativních pohonů vozidel založených navodíku.

Z nanotrubiček se podařilo vyrobit superpevnou fólii, která má velmi dobré mechanické vlastnosti (zejména velká pevnost), je průhledná a vodivá. Uplatnění nachází při výrobě skel. Sklo potažené touto fólií je velmi pevné a díky její vodivosti ho lze vyhřívat. V elektrotechnice by se dala použít na výrobu lepších kondenzátorů (více namotaných závitů při stejném objemu díky velmi malé tloušťce), ohebných displejů (fólie umí zářit jako zářivka).

Fyzikům se podařilo vytvořit novou formu uhlíku, tzv. nanopěnu, působením laserových pulsů na uhlíkový terčik v argonové atmosféře, zahřáním na teplotu 10^4 °C. Její struktura je tvořena sítí pospojovaných uhlíkových nanotrubiček dlouhých 5 nm, viz obr.3. Jedná se o další formu uhlíku, vykazující překvapivé feromagnetické vlastnosti, které za pokojové teploty po pár hodinách vymizí, ale při nižších teplotách je lze dlouhodobě udržet. Tato vlastnost by se podle názoru některých fyziků dala v budoucnu využít například v medicíně při léčbě rakoviny. Vstříknutím látky do nádoru by bylo možné zničit jej lokálním zvýšením teploty nanopěny po pohlčení infračerveného záření, zatímco okolní zdravá tkáň by zůstala neporušena. Vstříknutím nanopěny do krevního oběhu by se mohl metodou jaderné magnetické rezonance sledovat průtok krve tkáněmi. Tyto a další představy aplikace a vlastnosti nanopěny jsou v současné době ve fázi výzkumu.

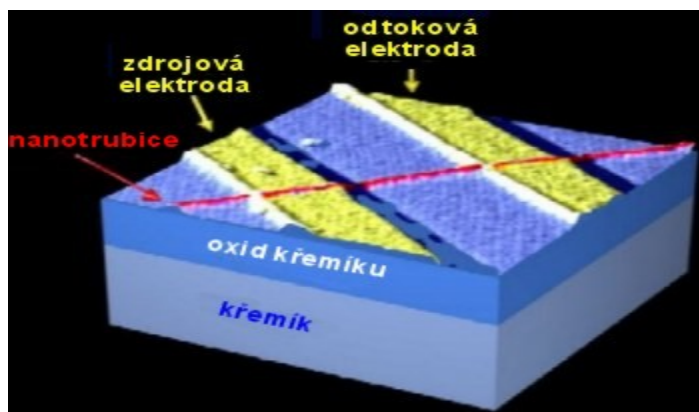


Obr. 3 Uhlíková nanopěna, snímek pořízený v elektronovém mikroskopu

4. 2. Nanoelektronika

Nanoelektronika, jak bylo zmíněno v předchozí části, se zabývá uplatněním a využitím uhlíkových trubiček pro výrobu tranzistorů, displejů, pamětí a dalších elektronických zařízení, která mají díky nanotrubičkám výrazně lepší vlastnosti, než dosud vyráběné součástky.

Na obr. 4 je znázorněn model tranzistoru využívající nanotrubičku (červeně) o průměru 1 nm. Žlutou barvou jsou označeny hlavní platinové elektrody, které jsou nanesené na ionizující vrstvu SiO₂ (modře). Vzdálenost mezi elektrodami je 400 nm. Proud procházející trubičkou je řízen napětím hradla, které na obrázku není znázorněno.



Obr. 4 Polem řízený tranzistor využívající uhlíkovou nanotrubicí s průměrem 1 nm

Počítačové firmy spolupracují v současné době s mnoha univerzitami po celém světě na výzkumu a vývoji procesorů, které se budou vyrábět tzv. „technologií 90 nm“. Dnes se používá 130 a 150 nanometrové technologie. Miniaturizace se však netýká pouze procesorů, ale i pamětí, které budou mít větší kapacitu při stejných resp. menších velikostech.

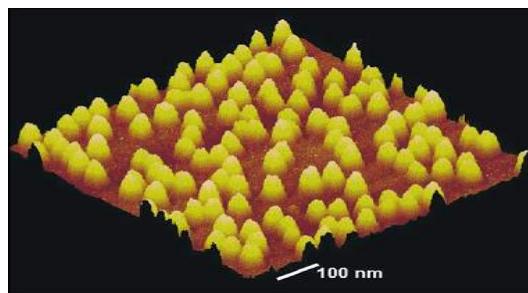
Byl vyvinut nový typ barevných plochých displejů mobilních telefonů, tzv. nanoemisní displeje (NED), jejichž výroba je opět založena na metodě použití nanotrubiček, které se nechají růst přímo na skle displeje. Díky této technologii je výroba displejů výrazně levnější, monitory mají vyšší životnost a lepší rozlišení obrazu. Současné vzorky NED displejů mají 5'' úhlopříčky a jsou součástí větších 42'' displejů s rozlišením 1280 x 720 pixelů, tenké pouze 3,3 mm, mají velmi široký úhel pohledu a rychlou reakční dobu. Předpokládá se, že tato technologie brzy nahradí současnou generaci plochých monitorů počítačů. V roce 2004 vytvořila firma Samsung prototyp ploché obrazovky obsahující uhlíkové trubičky s úhlopříčkou 38''. Obrazovky mají menší spotřebu energie a ostřejší obraz.

Technika nanášení povrchových vrstev ve vakuu je dosud jednou z nejpoužívanějších metod výroby mikrostruktur různého druhu. V mikroelektronice se tak, v kombinaci s optickými, nebo elektronovými litografickými metodami, vyrábí

tranzistory, či optické spínače a rezonátory miniaturních rozměrů. Tato metoda však má své fyzikální meze spojené např. s vlnovou délkou používaného světla, či odvodem tepla z čipu. Snaha čím dál více zmenšovat rozměry elektronických součástek má dva podstatné důvody: zvětšit hustotu součástek na čipu a získat nové vlastnosti dané kvantovou mechanikou.

Nová technologie výroby mikrostruktur využívá tzv. kvantové tečky (quantum dots), což jsou ohraničené oblasti polovodiče o průměru 30 nm a výšce 8 nm, schopné v důsledku nižší energie ve srovnání s energií vodivostního pásu okolního polovodiče vázat elektrony. Mohou nabývat pouze diskretních hodnot energie, podobně jako je tomu u atomu. Každá tečka má omezenou kapacitu určenou jejími rozměry. Elektrony uvnitř teček vykazují kvantové vlastnosti. Kvantové tečky se využívají ve speciálních součástkách, které jsou schopny pracovat s jednotlivými elektrony či fotony.

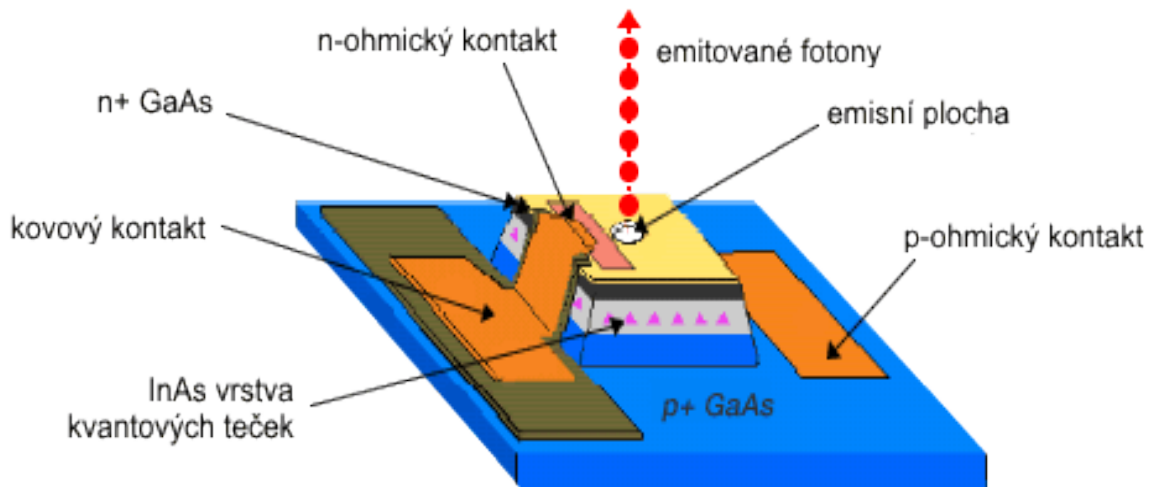
K výrobě kvantových teček je nutné, aby vzdálenosti mezi jednotlivými hladinami jejího energetického spektra byly větší, než tepelná energie fononů (vibrační kvantum, kvazičástice, šířící se krystalovou mříží pevné látky), což odpovídá hodnotě asi 25 meV při pokojové teplotě. Kdyby tomu tak nebylo, elektrony uvnitř teček by mohly přeskakovat mezi hladinami vlivem tepelného šumu. Nanášená vrstva materiálu (InAs) roste nejprve se značným mechanickým napětím, po dosažení kritické tloušťky několika nanovrstev se nanášené atomy začnou shromažďovat ve shlucích, čímž se minimalizuje napětí. Takový stav je zachycena obr. 5



Obr. 5 Vrstva kvantových teček (InAs) zobrazená AFM mikroskopem

Kvantové tečky našly uplatnění zejména pro konstrukci optoelektronických součástek. Například v kvantové kryptografii (odvětví moderní informatiky) se pro generaci jemných světelných impulsů o energii odpovídající jednomu fotonu používají jednofotonové světlo emitující diody, které se vyrábí na základě modifikace struktury dosavadních LED diod vrstvou s kvantovými tečkami. Jedná se o optoelektronické

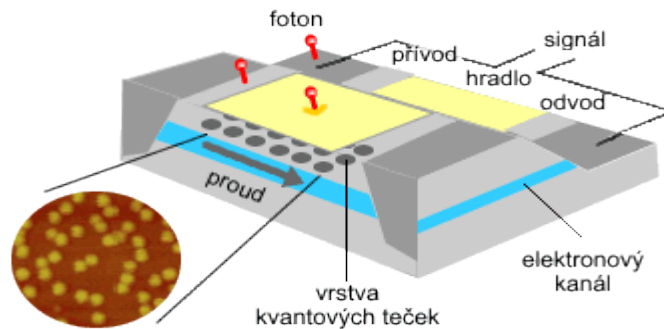
součástky, jenž na základě elektroluminiscence, jsou schopné emitovat nekoherentní monochromatické světlo.



Obr. 6 Znárodnění struktury jednofotonové LED diody využívající kvantové tečky

Z obr. 6 je vidět, že emise je umožněna pouze malým otvorem - emisní plochou, v ideálním případě z jediné kvantové tečky nacházející se pod otvorem. Ostatní kvantové tečky jsou zastíněné neprůhlednou vrstvou. Experimenty s takto upravenou LED diodou prokázaly, že již při proudu menším než 20 nA za teploty 5 K docházelo k emisi monochromatického záření o energii 1,3492 eV odpovídající infračervené oblasti a speciálními detektory bylo zjištěno, že se emitují jednotlivé fotony po sobě a ne ve shlucích jako u laserů. Emisi jednotlivých fotonů lze řídit jemnými proudovými pulsy až do frekvence 200 MHz.

K zařízením využívající kvantové tečky patří jednofotonový detektor (QDFET), který opět vznikl modifikací tranzistoru FET (tranzistor řízený polem) přidáním vrstvy s kvantovými tečkami paralelně k proudovému kanálu. QDFET tranzistor slouží k detekci jednotlivých fotonů. Funkce tranzistoru je popsána na obr. 7. Vrstva s kvantovými tečkami musí být od proudového kanálu vzdálena jen několik nanometrů. Záporné náboje elektronů zachycených v kvantových tečkách ovlivňují proud protékající kanálem tranzistoru. Citlivost tranzistoru lze ovlivňovat uvolněním jediného elektronu z kvantové tečky. Tím se změní velikost protékajícího proudu o měřitelnou hodnotu. Pohltí-li tečka foton, vzniká pár elektron – díra a elektron je uvolněn.



Obr. 7 Struktura jednofotonového detektoru QDFET

Jednofotonové detektory mají na rozdíl od klasických detektorů, jako jsou fotonásobiče nebo lavinové fotodiody, vyšší dynamický rozsah, vyšší kvantovou účinnost, menší šum, nevyžadují k provozu vysoké napětí a jsou méně náročné na konstrukci. Technika jednofotonové detekce poskytuje optimální metody měření stálých optických signálů a umožňuje podstatně zlepšit různé druhy zobrazovacích technik pro rentgenové záření, záření radioizotopů i jiných druhů záření, a tím přináší možnosti širokého uplatnění v lékařské diagnostice, analytické chemii i jiných oborech. Nejvýznamnější použití jednofotonových součástek však spadá do oblasti přenosu dat, díky dokonalému bezpečnostnímu přenosu šifrovacího klíče v kvantové kryptografii.

V nedávné době byl schválen patent společnosti Iomega v oblasti nanotechnologie a optického záznamu dat. Nové médium nesoucí název AO-DVD má 5 krát až 30 krát větší přenosovou rychlost, lze na něj uložit 40 až 100 krát více informací, než dovolují současná média. AO-DVD může mít kapacitu až 500GB, přitom cena takového DVD by přibližně zůstala stejná jako mají současná média.

Počítačová společnost Hewlett-Packard otevřela cestu ke kvantovým počítačům, když se jejímu vědeckému týmu podařilo vyrobit nano - zařízení, které by v budoucnu mělo nahradit současné tranzistory. Základním krokem k výrobě čipů je technologie, která i bez tranzistoru umožní obnovení signálu a jeho inverzi. Jedná se v podstatě o překřížené platinové dráty s molekulami kyseliny. Funkci tranzistoru bude nahrazovat jeden vodič překřížený dvěma kontrolními, které budou sloužit i jako spínače. Vysláním elektrických impulsů může tato technologie provádět základní logické operace AND, NOT a OR. Velikost jednotlivých spojů se bude pohybovat okolo 2 nm. Výroba základních prvků přitom bude jednoduchá a po-měrně levná.



Obr. 8 Svítící clustery

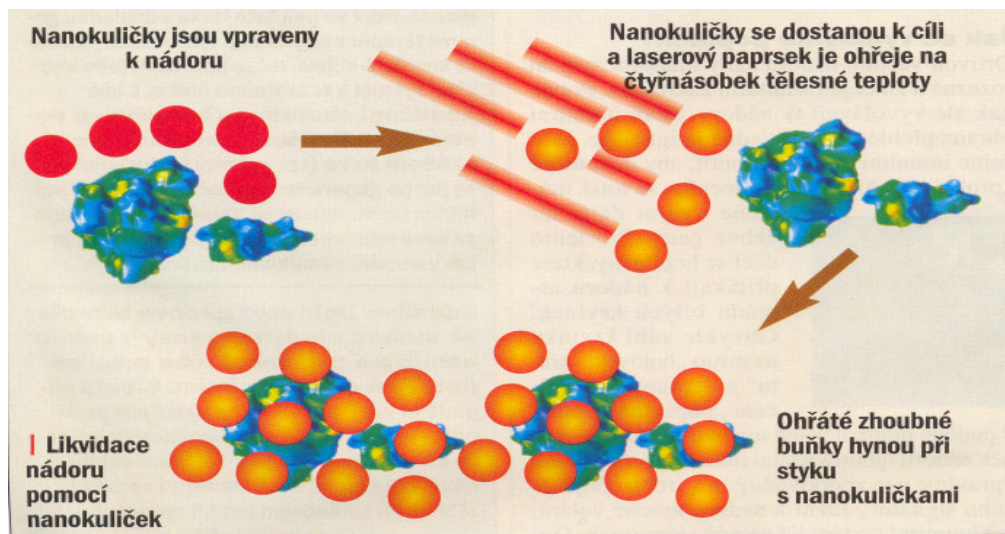
Na obr. 8 je vidět světlo od jednotlivých emitujících molekul, z nichž každá tvoří nejmenší elektroluminiscenční zdroj na světě. Sledováním výstupu emitovaného světla ze dvou korelovaných molekul, lze spolu pulsy sčítat a vytvářet jednoduché základní sčítací operace. Clustery mohou pracovat ve dvoustavové logice s funkcemi AND, OR, NOT a XOR, působí-li na ně různé impulsy.

4. 3. Nanomedicína, biotechnologie

V oblasti nanomedicíny se podařilo syntetizovat liposomální struktury - lipidové koule o průměru 100 nm, umožňující zlepšenou cílenou distribuci terapeutických látek. Používají se k zapouzdření protirakovinných léků. Vědci vyvinuli novou metodu k odhalení nádoru a jeho lokalizaci v těle. Jedná se o šetrnější zobrazovací metodu využívající nanočástice a infračervené světlo, která by mohla nahradit dosud používaná ionizující záření. Polymerní nanočástice obsahují fluorescenční barvivo a bílkoviny, které jsou schopny se vázat na určité typy nádorových buněk. Částice se koncentrují na povrchu nádoru a po ozáření je pak vidět jejich fluorescenci.

K likvidaci nádorů se s úspěchem dají využít křemíkové kuličky o rozměru 100 nm, potažené 10 nm vrstvičkou zlata. Tyto kuličky jsou vpraveny k nádoru, kde jejich přítomnost v těle nepředstavuje sama o sobě zdravotní riziko. Po ozáření jejich povrchu laserovým paprskem se kuličky prudce ohřejí a spálí nádorové buňky. K ničení zhoubných buněk je třeba ohřát nanočástice pouze na 55 °C.

Vývoj těchto zlatých „nanostřel“ pokračuje dál. Ty jsou nyní schopné se sami navádět na cíl. K tomu jim pomáhá protilátka navázaná na zlatém obalu, přes kterou se nanokuličky zakotví na povrchu rakovinné buňky. Mikroskopické střely se po aplikaci do krve hromadí pouze v nádorových buňkách, které jim poskytují vhodné uchycení. Lékaři plánují, že by tyto vylepšené nanostřely měly být schopné likvidovat i velmi malé metastázy, které nejsou schopni nyní odhalit. Na obr. 9 je znázorněn princip likvidace nádorových buněk nanostřelami.



Obr. 9 Likvidace nádoru pomocí nanokuliček

Vrstvička zlata na povrchu kuličky umožňuje přeměnit absorbované záření na teplo. Při dopadu záření na zlatou slupku dochází k rezonanci. Díky této schopnosti lze nanokuličky naladit na různé barvy laserového záření. Bylo zjištěno, že záření o vlnové délce 820 nm proniká dostatečně hluboko a nenaráží na žádný odpor uvnitř tkání. Zlaté nanokuličky jsou zatím testovány laboratorně, ale vzhledem k jejich pozitivním výsledkům se dá očekávat, že v dohledné době budou používány k likvidaci nádorových onemocnění u člověka.

Nanotechnologie našly využití i pro cílenou dopravu léčiv. Nanofarmacie přinesla revoluční změnu pro aplikaci léků. Doposud byl nejrychlejší způsob aplikace látky nitrožilně, což bylo spojeno s bolestivými vpichy a vysokými nároky na sterilitu. Nanotechnologickými postupy lze vyrobit koloidní roztoky vitamínů, minerálů, potravinových doplňků a léků ve sprejové formě. Spreje umožní snadnou aplikaci na sliznici ústní dutiny a přitom mají vysokou účinnost.

Magnetické nanočástice jsou využívány při analýze krve, moči a jiných tělních tekutin, pro urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti. Byly vyvinuty fluorescenční částice, které tvoří základ nových detekčních technologií pro analýzu infekčních a genetických chorob a výzkum léčiv.

Pomocí nanotechnologií lze dokonce vyrobit z miniaturních částiček platiny vysoce výkonné „kovové svaly“. Malého elektrického náboje lze využít k ohnutí platinového drátku, zkonstruovaného sendvičovým skládáním platinových atomů s nepatrnými otvory. První kovové svaly, které jsou schopné reagovat na vnější podnět byly vyrobeny ze slitiny niklu a titanu. Pro využití těchto nanosvalů je zapotřebí vyvinout velký elektrický proud při napětí až 100 V, který by se přeměnil na tepelnou energii. Metody, kterými by šlo energii usměrňovat a využít ji ve svalech, by však vyžadovaly velmi objemné přístroje vpravené do organismu. Oproti tomu platinové nanosvaly mají stejný účinek bez velkých objemů tepla. Je to možné díky jejich milionkrát větší dostupné ploše povrchu, která umožňuje slitině ukládat velký elektrický náboj, přičemž k jejímu ohnutí stačí napětí jen několika voltů. I když nanosval má hmotnost pouhý jeden gram, může zvedat až 140 gramů. Nanosvaly by se daly využít v mnoha oborech, například u elektronických přístrojů, hraček, videokamer, zejména pak v lékařství, jako náhradu za poškozené svaly a orgány. Další využití by mohly najít svaly v robotice, díky svým miniaturním rozměrům, malé hmotnosti a schopnosti vyvíjet velké množství energie.

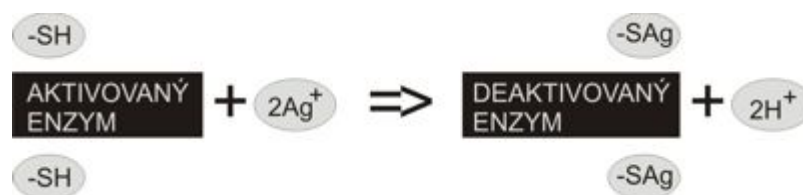
V současnosti probíhá výzkum pro využití pěny z nanotrubeček v kostních implantátech, která by se vpravila přímo do kostí. Tím by získaly kosti vysokou pevnost a zabránilo by se tak jejich zlomeninám. Podstatu tvoří náhrada kolagenu trubičkami, na nichž by se mineralizovala anorganická složka kostí (hydroxyapatit). Trubičky ale musí být obohaceny o sloučeniny fosforu a síry, aby se na ně sloučenina mohla navázat. Otázkou však nadále zůstávají možné toxické účinky trubiček v lidském těle, proto se provádí testy a pokusy s upravenými trubičkami, nebo obohacenými o látky (např. Fe), aby je tělo přijalo.

4.4 Oděvní průmysl, sport

Příkladem využití nanočástic v tomto odvětví může být výroba nemačkových a nešpinících se bavlněných tkanin, nebo rámu tenisových raket, které jsou zpevněny uhlíkovými nanotrubicemi. Podobně tenisové míčky, jejichž vnitřní vrstva z nanokompozitu polymer – jíl zvyšuje jejich životnost.

Česká republika má konkrétní zásluhy v oblasti nanotechnologií. Na Technické univerzitě v Liberci vyvinuli odborníci, jako jedni z prvních na světě, vlákna tloušťky 200 nm. Univerzita ve spolupráci s libereckou firmou ELMARKO vytvořila i prototyp stroje pro výrobu netkaných nanovláknových textilií. Výrobní technologie nazvaná *Nanospider* je založena na principu zvláknování vodných roztoků polymerů bez použití chemických rozpouštědel v silném elektrickém poli. Z těchto vláken se dají vyrábět lehké, tenké, a současně pevné textilie, které jsou porézní, přitom jejich póry jsou dostatečně malé k tomu, aby jimi nemohly projít bakterie či viry. Tyto textilie mají tedy vysokou filtrační schopnost a lze je použít pro výrobu superfiltročních textilií pro použití v laboratořích, chirurgických sálech apod. V medicíně je lze využít ke krytí ran. Jejich struktura je totiž velmi podobná struktuře buněčné hmoty lidské tkáně. Látka propouští kyslík, brání ve stupu bakteriím, zajišťuje odtok zánětlivého výtoku z krevních a mízních cest a lze na jejich povrch navázat antibakteriální a hojení urychlující léčiva. Kromě toho mohou být využity pro rekonstrukci kůže, kostí, cév, svalů i nervové tkáně, doručování a řízené uvolňování léčiv či buněk. Výborné schopnosti absorpce zvuku těchto nanotextilií se dá využít v průmyslu pro odhlučňování interiérů automobilů, letadel či ve stavebnictví. O nanotextiliích se aktuálně hovoří v souvislosti s ptačí chřipkou. Virus patří do skupiny ortomixoviry, jejichž genetická informace je uložena v bílkovinném obalu. Rozměry těchto virů se pohybují kolem 100 nm, a tedy nemohou projít přes strukturu nanotextilí, jejichž póry mají velikost pouze několika nanometrů. Roušky vyrobené z nanovláken by nás ochránily před kapénkovým přenosem přes dýchací cesty.

Firma Nanosilver již uvedla na český trh speciální ponožky „impregnované“ částicemi Ag. Ionty stříbrných nanočástic působí antibakteriálně. Ovlivňují látkovou výměnu bakterií, mají též fungicidní účinky. Na obr. 10 je znázorněn princip, jakým nanočástice stříbra likvidují bakterie. Částice pronikne přímo do bakterie a reaguje s -SH skupinami oxidačních metabolických enzymů bakterie, a tím dojde k udušení bakterie. Na rozdíl od klasických antibiotik, nezískávají bakterie vůči částčkám stříbra odolnost



Obr. 10 Znázornění reakce Ag iontů s enzymy bakterií

Kromě antibakteriálních účinků ponožky lépe vstřebávají pot, urychlují hojení ran a oděrek, zlepšují prokrvení nohou, předcházejí omrzlinám a jsou antialergenní. Ponožky jsou určeny pro všechny, kteří mají problémy s nadměrným pocením nohou, nebo pro celodenní chození či pohyb v náročném terénu (např. sportovci, vojáci, policisté, hasiči).

5. Budoucnost nanotechnologií

Výzkum nanotechnologií v současnosti probíhá ve všech průmyslově vyspělých státech. Zatím se jedná spíše o teoretické poznatky a základní výzkum. Praktické uplatnění nanotechnologií v širším měřítku je teprve na svém počátku.

V blízké budoucnosti, v horizontu 5 až 10 let se uplatní projekty, které se v současnosti úspěšně realizují v rámci laboratoří. Týká se to především oblastí nanomateriálů (nanokompozity, nanotrubičky) a nanočástic, nanomedicíny, elektroniky a péče o životní prostředí. Zkouší se využití kvantových teček, které se připojí na molekuly, ke sledování biologických procesů. Usnadnilo by se tak testování protilátek či DNA. Nanoprášky mají slibnou budoucnost jako katalyzátory chemických reakcí díky své účinné urychlující schopnosti. Nanočástice se budou využívat také k čištění vod. Automobilový průmysl zkoumá možnost využití polymerních nanokompozitů na výrobu dílů, které mají malou hmotnost a přitom velkou pevnost. Stále více se budou používat nanomateriály v otěruvzdorných a korozivzdorných povlacích, nové keramické materiály pro výrobu vodních trysek, injektorů, opláštění zbraňových systémů či povlékání elektrod v energetických zařízeních. V elektronice se budou nahrazovat současné logické obvody optickými spoji. Nanotrubičky budou využívány pro výrobu pružných obrazovek, displejů a velkokapacitních pamětí. V energetice se trubičky využijí pro uskladňování vodíku pro palivové články.

Z hlediska dlouhodobé perspektivy jsou hlavním kandidátem využití výsledků výzkumu v oblasti nanotechnologií informační a komunikační technologie, jež nahradí stávající mikroelektroniku nanoelektronikou. Zde sehraji významnou roli uhlíkové nanotrubičky a fullereny. Dá se očekávat, že se budou rozvíjet metody výroby tenkých nanodrátků do nanosenzorů (např. pro detekci chemických a biologicky nebezpečných látek).

Velké naděje se vkládají do budoucího využití tzv. „extrémní nanotechnologie“, která zahrnuje manipulaci s atomy a molekulami. Jde o samoreplikující se a samosestavující se systémy, jež mohou mít uplatnění v elektronice nebo lékařství.

Nanomateriály s vylepšenými vlastnostmi se budou používat při vysoce účinné katalýze v chemických procesech a při přeměně energie ve fotovoltaických a palivových článcích, biokonverzi energie či zpracování odpadů a kontrole ovzduší.

Pozadu nezůstane ani nanomedicína. Zde se budou dále vyvíjet nová diagnostická zařízení, terapeutika, transport léků nebo biokompatibilní materiály pro implantáty a protézy.

Závěr

Přes jisté obavy z možných sociálních a etických důsledků propojování nano a biotechnologií se dá očekávat, že nanotechnologie je a bude stále více podporována. O tom nás přesvědčuje relativně rychlý růst nanotechnologických patentů a publikací za posledních 20 let. Výzkum je podporován jak z veřejných, tak ze soukromých prostředků různými obchodními společnostmi a firmami.

Interdisciplinární charakter nanotechnologií vyžaduje hlubokou znalost daného vědního oboru, současně však i schopnost orientace v jiných disciplínách. Nutnou podmínkou je umět spolupracovat v týmu a propojovat a aplikovat všechny získané poznatky do praxe. Z toho důvodu probíhají výzkumy a úpravy učebních osnov na vysokých školách tak, aby absolventi vysokých škol byli schopni pracovat v tomto oboru. V poslední době dochází k stále větší popularizaci nanotechnologií. Vznikají nejrůznější internetové stránky a dokumenty zaměřené na nanotechnologie a pořádají se konference.

Pokusme se tedy poskytnout návrh elementárního textu, vhodného k doplnění znalostí na středních školách.

Nanotechnologie

(návrh učebního textu pro SŠ)

Úvod

V současné době stojí nanotechnologie v popředí zájmu vědeckého bádání. Odborníci z celého světa vytváří programy, jejichž součástí jsou plány pro další rozvoj v dílčích oborech nanotechnologického výzkumu. S tím souvisí vysoké nároky na vzdělanost a dobrou orientaci v disciplínách, které se nanotechnologií dotýkají. Je tedy zapotřebí více informovat a seznámit každého člověka o jejich podstatě, významu a uplatnění v běžném životě.

Nanotechnologie zahrnují celé spektrum vědních disciplín, proto by se o nich dalo hovořit v podstatě v každém z těchto oborů.

Vymezení pojmu nanotechnologie

Nanotechnologie patří do oblasti nanosvětla, do oblasti atomů a struktur o rozměrech 1 – 100 nm. Soustřeďuje poznatky klasických vědních oborů (fyzika, chemie, biologie) a využívá je pro tvorbu užitečných materiálů, struktur a zařízení, které mají v důsledku svých velmi malých rozměrů zcela nové a mnohdy nečekané vlastnosti.

Významným mezníkem v historii nanotechnologií jsou 50. léta 20. století. V té době se našlo pár odvážlivců, kteří přišli s představou sestrojít zařízení molekulárních rozměrů. Mezi ně patřil americký fyzik R. Feynman, který se ve své přednášce v roce 1959 (There's Plenty of Room at the Bottom - „Tam dole je spousta místa“) zabýval myšlenkou manipulace s „molekulárními stroji“ a hovořil o tzv. mikrotechnologii.



Richard Philips Feynman (1918 – 1988), americký profesor teoretické fyziky na Caltech (California Institute of Technology), člen londýnské Královské společnosti, Národní akademie věd. Spolupracoval na vývoji atomové bomby (projekt Manhattan). Jeho hlavní vědecké zaměření bylo v oblasti kvantové mechaniky. V roce 1965 získal Nobelovu cenu za fyziku za rozvoj kvantové dynamiky. Stál u zrodu nanotechnologií a na jeho počest je každoročně udělována Feynmanova cena za přínos v tomto oboru.

O dvacet let později na tyto názory navázal K. E. Drexler. Ve svém článku o molekulárním inženýrství předložil představu výroby molekulárních zařízení, jejichž

základní stavební kameny by tvořily proteiny. Termín nanotechnologie byl poprvé použit v roce 1974 Taniguchim v souvislosti s výrobními způsoby, jimiž lze vyrobit součástky s přesností jednotek nanometrů. Ve druhé polovině 20. století probíhaly výzkumy orientované na poznání způsobů jakými příroda vytváří rozmanité struktury, tedy na jevy probíhající na atomové a molekulární úrovni.

Významnou událostí se stal objev nových přístrojů na pozorování a manipulaci s jednotlivými atomy - tzv. rastrovací tunelový mikroskop (STM) a mikroskop atomárních sil (AFM), které patří do skupiny metod označovaných souhrnně jako "Mikroskopie skenující sondou" (SPM).

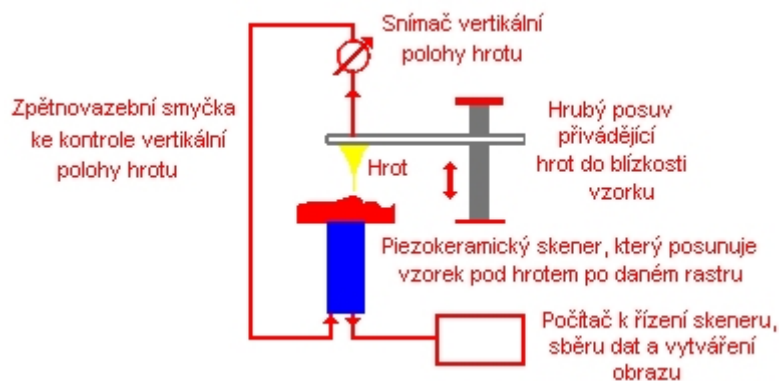
Na obr. 1 je uvedeno schéma STM mikroskopu. Jeho konstruktéry byli v roce 1981 pracovníci firmy IBM v Curychu, Gerd Binnig a Heinrich Rohrer. V roce 1986 získali za svůj objev Nobelovu cenu. STM se skládá z mechanické části tvořené stolkem s polohovacím zařízením umožňující prostorový pohyb (ve třech směrech) a nosníku s hrotem. Elektrická část tvoří zdroj napájení, zařízení pro řízení zpětné vazby, sběr signálu a ovládání pohybu. Vnější část mikroskopu je vybavena zařízením k tlumení mechanických vibrací. Činnost mikroskopu je založena na tunelovém jevu, ke kterému dochází mezi hrotem a povrchem. Hrot je přitom tvořen jediným atomem. Další zařízení z roku 1986, mikroskop atomárních sil (AFM), již nevyžaduje vodivý hrot ani vzorek. Toho lze využít k analýze polovodivých a nevodivých látek. Pohyb hrotu je zpravidla detekován laserem.



Gerd Karl Binnig (1947), německý fyzik a nositel Nobelovy ceny za fyziku v roce 1986 za vytvoření prototypu tunelového mikroskopu (STM) ve spolupráci s Heinrichem Rohrerem. Od roku 1978 je členem výzkumné laboratoře firmy IBM ve Švýcarsku.



Heinrich Rohrer (1933), švýcarský fyzik a nositel Nobelovy ceny za fyziku 1986 (spolupráce s Binnigem). Věnoval se výzkumu supravodičů, od roku 1963 člen Výzkumné laboratoře IBM, kde se věnoval hlavně studiu magnetických a kritických jevů.



Obr.1 Schéma uspořádání STM mikroskopu



V roce 1990 se podařilo vědeckému týmu společnosti IBM vytvořit pomocí skenovacího tunelového mikroskopu logo firmy na niklový 100 nm velký plát 35 izolovanými atomy xenonu.

Aplikace nanotechnologií

Nanotechnologický výzkum se dá rozdělit do několika základních oblastí:

• *Materiálové inženýrství*

Zde patří především výzkum a vývoj nových druhů materiálů. V současné době se jedná o nejvíc rozvíjející se oblast nanotechnologií. Některé výsledky základního výzkumu již opustily laboratoře a uplatňují se v praxi (např. nanotextilie s velmi dobrými filtračními vlastnostmi, které se uplatní především v lékařství, antibakteriální a fungicidní ponožky s nanočásticemi stříbra). Nanočástice (zejména Fe_2O_3) mají uplatnění prakticky ve všech oborech od lékařství (např. nové filtrační metody, detoxikace tekutin a krve, kontrastní činidla pro metody vyšetřování magnetickou rezonancí), chemický průmysl (např. katalyzátory chemických reakcí), přes automobilový průmysl (např. zpevnění pneumatik, vylepšení airbagů) a technický průmysl (např. nanopigmenty do průmyslových barviv, přísady do barevných skel, přísady do kosmetických přípravků s UV filtry, počítačové paměti, magnetická záznamová média, laky s reflexními vlastnostmi, oteřuvzdorné nanovrstvy) až po ochranu životního prostředí (např. čištění podzemních vod, detoxikace území)

- **Nanobiotechnologie** (aplikace v medicíně)

Zde se jedná zejména o nové diagnostické metody (např. použití fluorescenčních částic pro odhalení nádoru, analýza genetických a infekčních chorob, výzkum léčiv, užití magnetických nanočástic k urychlení separace a zlepšení rozlišitelnosti při analýze tělních tekutin). Dalšími oblastmi zájmu jsou cílené dopravy léků, nové metody likvidace nádorových onemocnění či molekulární analýza.

- **Informační technologie** (nanooptika, nanoelektronika)

Informační technologie patří k rychle rozvíjející se oblasti nanotechnologií. V nanoelektronice se výzkum soustřeďuje na tvorbu nových typů tranzistorů či čtecích hlav harddisků, které mají větší kapacitu i výkonnost. Nejvýznamnějším objevem v této oblasti jsou tzv. fullereny nebo uhlíkové trubičky. Mají vynikající vlastnosti jako je tvrdost (větší než u diamantu), supravodivost či magnetické chování. Nanotrubičky tvoří základ pro novou generaci tranzistorů, displejů či procesorů. První krůčky ke kvantovým počítačům představují kvantové tečky. Jsou to ohraničené oblasti polovodiče o rozměrech 30 nm. Používají se ve speciálních součástkách pracujících s jednotlivými elektrony či fotony (např. jednofotonová LED dioda, jednofotonový QDFET tranzistor), jenž nalezly uplatnění v kvantové kryptografii (odvětví moderní informatiky zabývající se ochranou komunikace).

Zdravotní a ekologické aspekty nanotechnologie

V případě nanotechnologií se nesmí opomenout možné negativní důsledky jak na životní prostředí (např. toxicita volných nanočásti), tak i možné ohrožení zdraví člověka (např. bioimplantáty, tkáňové inženýrství). Výzkum nanotechnologií probíhá ve všech průmyslově vyspělých zemích (zejména USA, EU, Japonsko). Nanotechnologický výzkum je teprve na začátku svého dlouhodobého vývoje. V blízké budoucnosti se bude nejvíce rozvíjet a uplatňovat především v oblasti materiálů, informační a komunikační technologií, energetice, péči o zdraví a životní prostředí. Zdá se, že nanotechnologie jednou velmi významně pozitivně ovlivní všechny oblasti lidské činnosti.
