

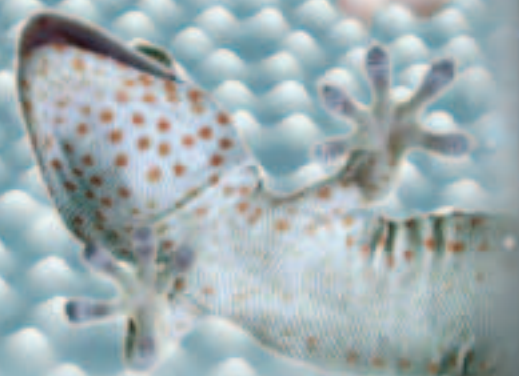


EVROPSKÁ
KOMISE

Komunitární výzkum

Nanotechnologie

Inovace pro zítřejší svět



NANOTECHNOLOGIE A NANOVĚDY,
INTELIGENTNÍ MULTIFUNKČNÍ MATERIÁLY,
NOVÉ VÝROBNÍ PROCESY A ZAŘÍZENÍ

Zajímá Vás evropský výzkum?

Čtvrtletně vydáváme časopis *RTD info*, který informuje o hlavním vývoji (výsledky, programy, události atd.).
Je k dispozici v angličtině, francouzštině a němčině. Ukázkový výtisk nebo předplatné lze zdarma získat na adrese:

European Commission
Directorate-General for Research
Information and Communication Unit
B-1049 Brussels
Fax: (32-2) 29-58220
E-mail: research@ec.europa.eu
Internet: http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/index_en.html

Editor: EVROPSKÁ KOMISE

Generální ředitelství pro výzkum
Ředitelství G – Průmyslové technologie
Oddělení G.4 – Nano- a konvergující vědy a technologie

Kontakt: Dr. Renzo Tomellini, Dr. Angela Hullmann

E-mail: renzo.tomellini@ec.europa.eu, angela.hullmann@ec.europa.eu

Internet: <http://cordis.europa.eu/nanotechnology>

Nanotechnologie

Inovace pro zítřejší svět

Tato brožura vznikla v rámci projektu financovaného německým Spolkovým ministerstvem pro vzdělávání a výzkum (BMBF) a realizovaného německým Svazem inženýrů – Technologickým Centrem (VDI-TZ). Evropská komise děkuje BMBF za svolení tuto publikaci přeložit a dát ji k dispozici evropské veřejnosti. Zvláštní poděkování patří Dr. Rositě Cottone (BMBF) a Dr. Wolfgangu Lutherovi (VDI-TZ) za jejich pomoc při koordinaci.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Všechny dostupné jazykové verze jsou zveřejňovány jako soubory ve formátu PDF a je možné si je stáhnout z internetové stránky <http://cordis.europa.eu/nanotechnology>

Vydává: Evropská komise, GŘ pro výzkum

Vytvořilo: Spolkové ministerstvo pro vzdělávání a výzkum (BMBF), Berlín

Koordinace: Oddělení technologií budoucnosti, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Autor: Dr. Mathias Schulenburg, Kolín

Grafická úprava: Suzy Coppens, BergerhofStudios, Kolín

***Europe Direct je služba, která Vám pomůže nalézt
odpovědi na otázky o Evropské unii***

Bezplatné telefonní číslo:

00 800 6 7 8 9 10 11

PRÁVNÍ UPOZORNĚNÍ

Evropská komise ani osoby jednající jménem Komise neodpovídají za použití informací uvedených v této publikaci.

Názory vyjádřené v této publikaci jsou výhradně na odpovědnost autora a nemusejí nutně odrážet názory Evropské komise.

Mnoho doplňujících informací o Evropské unii je k dispozici na Internetu.

Můžete se s nimi seznámit prostřednictvím serveru Europa (<http://europa.eu.int>).

Katalogizační údaje jsou uvedeny na konci této publikace.

Lucemburk: Úřad pro úřední tisky Evropských společenství, 2007

ISBN 92-79-00879-X

© Evropská společenství, 2007

Reprodukce je povolena s uvedením zdroje.

Předmluva

Nanotechnologie je novým přístupem k pochopení a zvládnutí vlastností hmoty v nanoměřítku: jeden nanometr (jedna miliardtina metru) je délka jedné malé molekuly. Na této úrovni vykazuje hmota nové a často překvapivé vlastnosti a mizí hranice mezi zavedenými vědeckými a technickými obory. Nanotechnologie má tedy výrazně interdisciplinární povahu.

Nanotechnologii je často připisován „převratný“ nebo „revoluční“ potenciál, pokud jde o její možný dopad na postupy průmyslové výroby. Vývojem menších, lehčích, rychlejších a výkonnějších materiálů, konstrukčních částí a systémů nabízí nanotechnologie řešení mnoha současných problémů. To otevírá nové možnosti pro vytváření blahobytu a pracovních míst. Od nanotechnologie se rovněž očekává, že významně přispěje k řešení globálních a ekologických problémů tím, že přinese výrobky a procesy s konkrétnějším využitím, ušetří zdroje a sníží množství odpadů a emisí.

V současné době dochází v rámci celosvětového snažení v oboru nanotechnologií k mimořádnému pokroku. Evropa začala včas investovat do nanotechnologií prostřednictvím různých programů, které byly zahájeny v druhé polovině 90. let minulého století. Tím byla vybudována silná znalostní základna. Nyní je třeba zajistit, aby evropský průmysl a společnost sklidily plody těchto znalostí tím, že vyvinou a budou používat nové výrobky a procesy.

Nanotechnologie byla tématem sdělení Komise („Na cestě k evropské strategii pro nanotechnologie“). V tomto sdělení se navrhuje, aby byl podpořen výzkum nejen v oblasti nanověd a nanotechnologií, ale rovněž poukazuje na několik dalších, vzájemně závislých, hybných sil:

- Větší koordinace národních výzkumných programů a investic, aby Evropa měla týmy a infrastruktury („póly excelence“), které mohou soutěžit na mezinárodní úrovni. Současně je nezbytná spolupráce výzkumných organizací ve veřejném a soukromém sektoru v celé Evropě pro dosažení dostatečného kritického množství.
- Neměly by se přehlížet ani další činitele konkurenceschopnosti, například odpovídající metrologie, předpisy a práva k duševnímu vlastnictví, aby se připravila cesta pro průmyslové inovace a dosáhlo se konkurenčních výhod, a to jak pro velké, tak i malé a střední podniky.
- Velký význam mají činnosti související se vzděláváním a odbornou přípravou. Velký prostor existuje zejména v oblasti zlepšení podnikatelských schopností výzkumných pracovníků a zajištění kladného postoje výrobních inženýrů ke změně. Realizace interdisciplinárního výzkumu na poli nanotechnologie může rovněž vyžadovat nové přístupy ke vzdělávání a odborné přípravě pro výzkum a průmysl.
- Dalšími důležitými činiteli k zajištění odpovědného rozvoje nanotechnologie a ke splnění očekávání lidí jsou sociální aspekty (například poskytování informací veřejnosti a komunikace s ní, otázky zdraví a ochrany životního prostředí a posuzování rizik). Důvěra veřejnosti i investorů v nanotechnologii bude rozhodující pro její dlouhodobý rozvoj a úspěšné využívání.

Účelem této brožury je nastínit, co nanotechnologie je a co může nabídnout občanům Evropy.

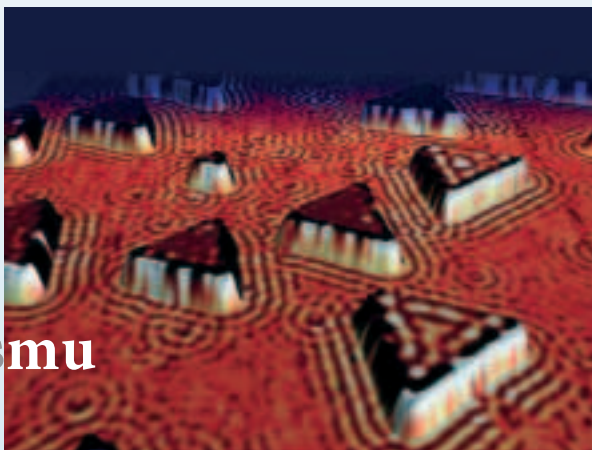
Herbert von Bose
Director of Industrial Technologies Directorate
Research DG,
European Commission

Obsah

3 Předmluva

4-5 Obsah

Cesta do nanokosmu



6-7 **Atom: stará myšlenka a nová realita**

8-13 **Nanotechnologie v přírodě**

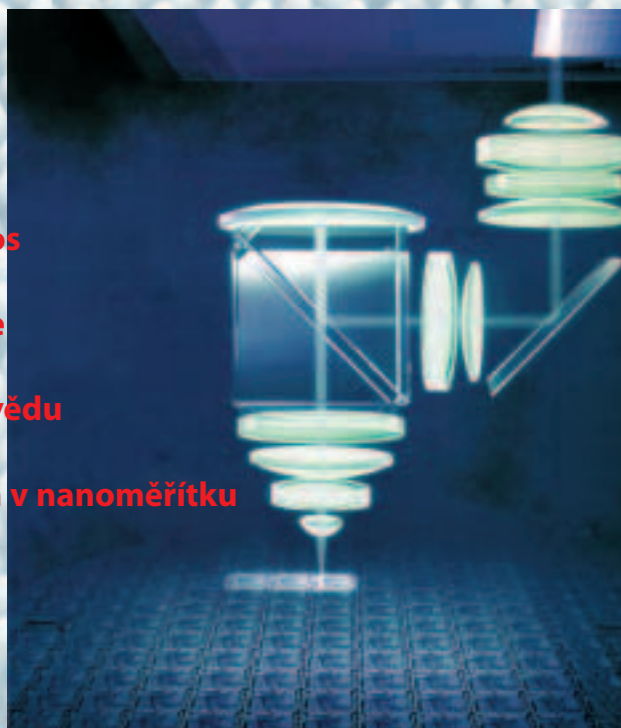
Přístroje a metody

14-15 **Oči pro nanokosmos**

16-17 **Zapisovací nástroje**

18-19 **Nové impulzy pro vědu**

20-21 **Materiálový design v nanoměřítku**



Nanotechnologie pro společnost



- 22-27 **Propojený svět: Nanoelektronika**
- 28-29 **Nanotechnologie v každodenním životě budoucnosti**
- 30-33 **Doprava**
- 34-37 **Zdraví**
- 38-41 **Energie a životní prostředí**
- 42-43 **Nanotechnologie pro sport a volný čas**

44-45 Vize

46-47 Příležitosti a rizika



Další informace

- 48 **Jak se stanu nanoinženýrem?**
- 49 **Kontaktní osoby, odkazy, literatura**
- 50-51 **Významový slovník**
- 52 **Obrazová dokumentace**

Cesta do nanokosmu

Atom: stará myšlenka a nová realita

Amedeo Avogadro
(1776-1856),
profesor fyziky v Turíně,
první, který své
zkoumání zaměřil na
dešťové kapky.



Náš hmotný svět se skládá z atomů. To tvrdil již před přibližně 2 400 lety řecký myslitel Démokritos. Moderní Řekové mu projevili svou vděčnost portrétem na desetidrachmové minci. Ta byla hojně rozšířena, stejně jako atomy. Dešťová kapka jich obsahuje 1 000 000 000 000 000 000 000, neboť atomy jsou drobkové, měří jednu desetinu nanometru. Nanometr je miliontinou milimetru.

Poměr průměru atomu hořčičku a tenisového míčku je roven poměru průměru tenisového míčku a Země. Vzpomeňte si na to, až si budete příště brát hořčičkovou tabletu!

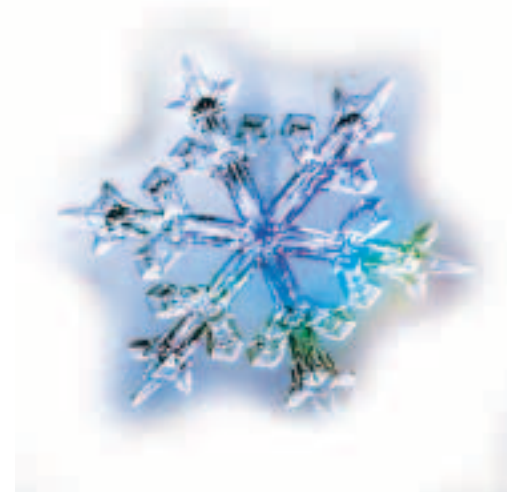


Lucetius, římský literát, napsal o několik století později báseň o atomech:

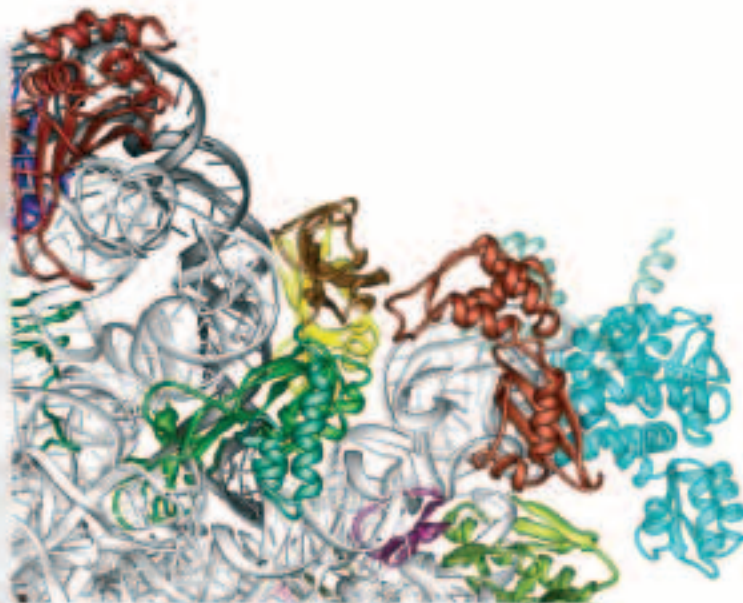
"Vesmír se skládá z nekonečného prostoru a z nekonečného počtu nerozložitelných částic, atomů, jejichž rozmanitost je stejně nekonečná. ... Atomy se odlišují pouze tvarem, velikostí a hmotností; jsou neproniknutelně tvrdé, nezměnitelné, hranicí fyzické dělitelnosti..."

To již byla velmi správná představa, i když se jednalo o pouhou spekulaci. Poté se dlouhou dobu o takových věcech nepřemýšlelo.

V sedmáctém století uvažoval slavný astronom Jan Kepler o sněhových vločkách a v roce 1611 své myšlenky zveřejnil: Pravidelný tvar mohl vzniknout jen díky jednoduchým, stejným stavebním blokům. Myšlenka atomu tak dostala nový lesk.



Duch Démokritových myšlenek se vznáší nad nanosčénou, mořem nekonečně mnoha možností.



Struktura biologických nanostrojů jako - ribozómů byla krystalograficky dešifrována Adou Yonath, DESY.

Vědci, kteří se zabývali minerály a krystaly, brali atomy stále častěji za bernou minci.

Ale teprve v roce 1912 byl na Univerzitě v Mnichově získán přímý důkaz: krystal modré skalice rozložil rentgenový paprsek stejně jako materiál deštníku rozložil světlo z lucerny –

krystal se musel skládat z atomů v uspořádané struktuře, stejně jako nitě v deštníku nebo jako hromada pomerančů na trhu. Důvod, proč se atomy v krystalu tak pravidelně řadí, je jednoduchý:

hmota si dělá co největší pohodlí a nepohodlnější je pravidelná, uspořádaná struktura.



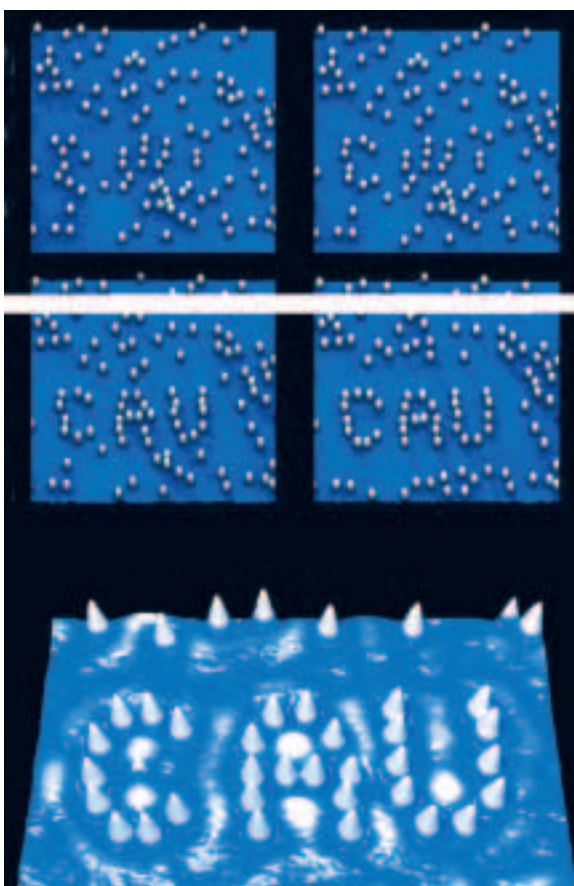
Moderní analytické přístroje mohou takové vysoce složité součásti živé hmoty zviditelnit až v nanoměřítku. V 80. letech minulého století byl vyvinut přístroj nazvaný rastrovací tunelový mikroskop, pomocí něhož lze nejen zobrazit jednotlivé atomy krystalu (mnoho lidí považovalo první obrázky za podvod), ale dokonce s nimi pohybovat.

Nyní byla připravena půda pro nový směr: nanotechnologii.

Když zatřepeme s ořechy v míse, vytvoří pravidelný vzor, pro atomy je to ještě mnohem snazší.

Jednoduché vzory ale nejsou vždy těmi, které se dají nejsnáze reprodukovat. Hnána silami sebeuspořádání přijala hmota na Zemi za miliardy let fantasticky

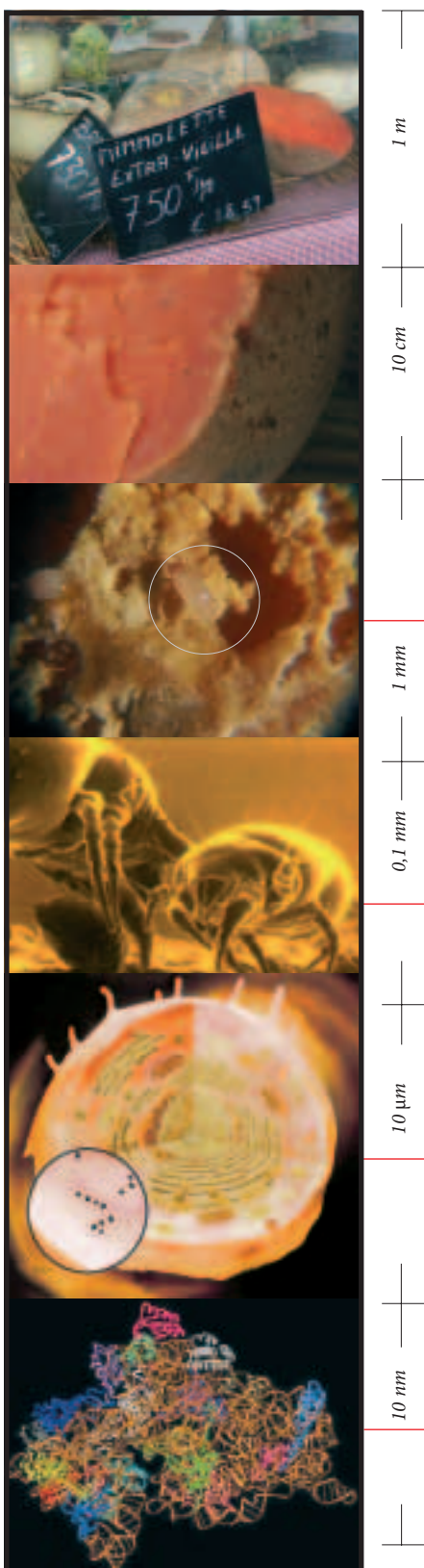
složité, živoucí formy.



Atomy manganu použil profesor Berndt v Kielu k sestavení loga Univerzity Christiana Albrechta (CAU).

Nanotechnologie v přírodě

Nanotechnologům leží živá příroda velmi na srdci. Během čtyř miliard let své existence totiž příroda našla ohromující řešení svých problémů. Je přitom typické, že život strukturuje svou hmotu až do posledního detailu, až na úroveň atomu. Nanotechnologové mají stejné přání.



Atomy nejsou oblíbené. Když o nich slyšíme, vzpomeneme si na strašné výbuchy nebo nebezpečné záření. To se však může týkat pouze technologií, které se zabývají jádrem atomu. Nanotechnologie se zabývá obaly atomu. To je právě to měřítko, u kterého přichází ke slovu nanotechnologie.

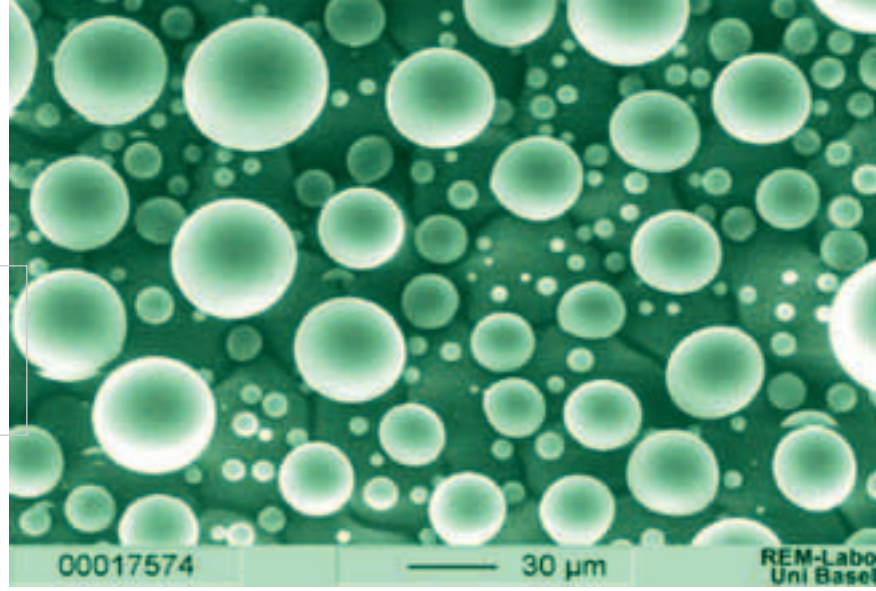
Abychom však nade vši pochybnost ukázali, že atomy jsou skutečně každodenní záležitostí, která ve správném spojení může být dokonce velmi chutná, zvolíme za místo vstupu do nanokosmu sýr.

Mimolette pochází z Flander. Povrch posetý malými dutinkami prozrazuje tajemství tohoto sýru: někdo v něm bydlí! Ovšem se svolením majitele, neboť aktivita roztočů prospívá aromatu tohoto sýra. Roztoči jsou velcí desetinu milimetru. ESEM, environmentální rastrovací elektronový mikroskop, může dokonce pozorovat roztoče živé. Stejně jako ostatní živé organismy se i roztoči skládají z buněk. Velikost buňky je v měřítku mikrometrů. Každá buňka je vybavena velmi složitou soustavou. Důležitou součástí této soustavy jsou ribozómy, které vytvářejí všechny možné proteinové molekuly podle předlohy DNA, která je nositelkou genetické informace. Ribozómy mají velikost řádově 20 nanometrů. Části jejich struktury jsou nyní určeny až na úroveň jednotlivých atomů. První plody tohoto druhu nanobiotechnologického výzkumu jsou nové léky, které blokují bakteriální ribozómy.



Lotos čistí svoje listy pomocí lotosového efektu, který nese jeho jméno.

Kapíčky vody na lístku řeřicha, zobrazené s pomocí enviromentálního rastrovacího elektronového mikroskopu (ESEM)

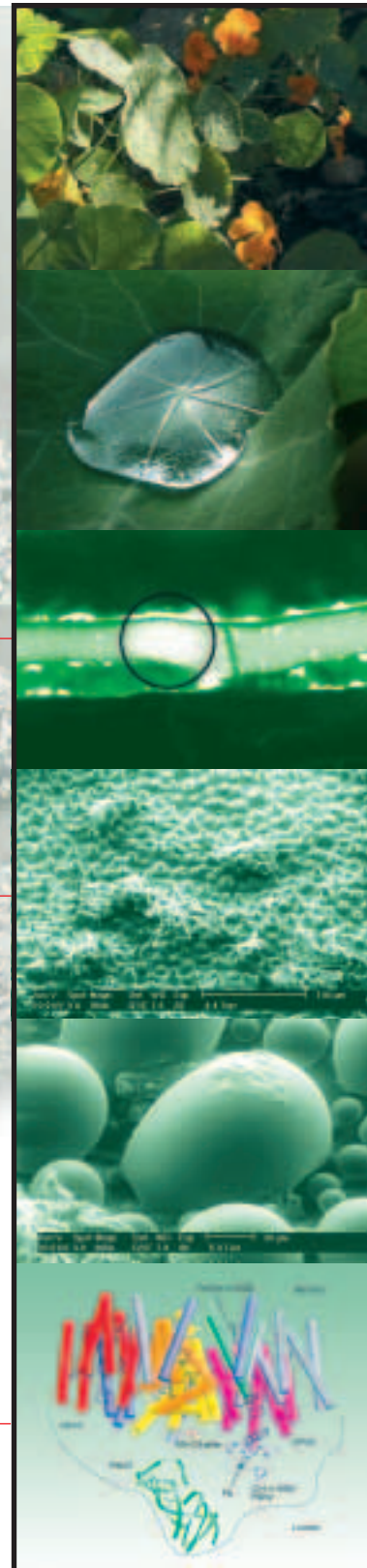


Lotosový efekt a spol.

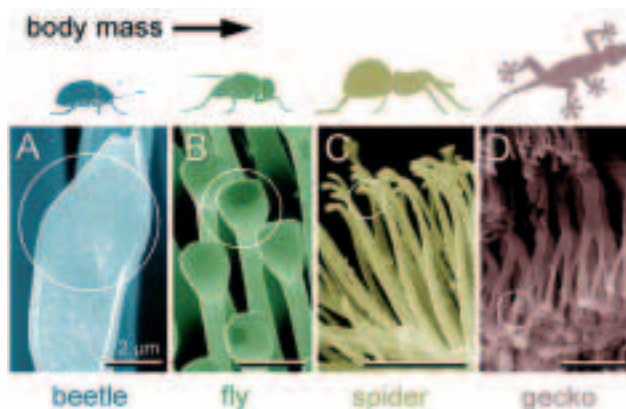
Řeřicha udržuje své listy čisté pomocí lotosového efektu. Environmentální rastrovací elektronový mikroskop (ESEM) ukazuje, jak jsou kapíčky vody od povrchu listu odpuzovány. To je zapříčiněno chmýřím, které se vyskytuje na povrchu. Zajišťuje tak, že voda v podobě kapiček rychle odteče, přičemž s sebou vezme všechny nečistoty z povrchu. Lotosový efekt, který zvlášť podrobně zkoumal profesor Barthlott a jeho spolupracovníci na Univerzitě v Bonnu, již našel uplatnění v celé řadě výrobků, jako jsou například fasádní barvy, z nichž voda stéká společně s nečistotami. Zdravotní keramika s lotosovou strukturou se snadno udržuje.

Listy rostlin využívají ještě další nanotechnologie. Jejich vodní hospodářství často řídí forisomy. To jsou mikroskopicky malé svaly, které v kapilárním systému rostlin otevírají cesty, nebo je opět zavírají, je-li rostlina poraněna. Tři Fraunhoferovy ústavy a Univerzita v Gießenu se nyní pokoušejí najít technické využití svalstva rostlin, například pro mikroskopicky malé lineární motory, třeba pro tzv. laboratoř na čipu (*lab-on-a-chip*).

Nejdůmyslnější technologií v atomovém měřítku je proces fotosyntézy, který shromažďuje energii pro život na Zemi. Záleží na každém jednotlivém atomu. Komu se podaří tento proces zkopírovat pomocí nanotechnologie, ten bude mít zdroj energie jednou provždy.



1 m
1 cm
50 m m
10 m m
1 μm
10 mm



S nanotechnologií na stropě: gekon

Gekoni mohou vyběhnout na jakoukoli stěnu, prohánět se po stropě hlavou dolů a zůstat na něm viset zachyceni pouze jednou nohou. To vše – jak jinak – díky nanotechnologii. Noha gekona je přilnavá díky tomu, že je pokryta jemňoučkými chloupky, které, že se k podkladu mohou přiblížit na několik nanometrů a přitom dokáží pokrýt velkou plochu. Pak začíná působit tzv. van der Waalsova vazba, která ačkoliv je ve skutečnosti slabá, pomocí milionů adhezních bodů unese hmotnost gekona. Vazby lze snadno přerušit pomocí „odtržení“, stejně jako se odstraňuje lepicí páska. Tak může gekon běhat po stropě. Materiáloví vědci se již těší na syntetického „gekona“.

průchod leukocytů na stěně cévy. Při maximální koncentraci feromonu se leukocyty pevně přichytí a další přilnavé molekuly pak dopraví tyto krvinky stěnou cévy na místo vpichu, kde se pustí do případných vetřelců – tak vypadá přilnavost dovedená k dokonalosti.



Nanotechnologické napodobeniny se zkoumají pod názvem „bonding on command“ – přilnavost na povel.

Mlži jako mistři v lepení

Slávky jedlé – právě ty, které v restauracích podávají k jídlu vařené se zeleninou – jsou mistry v nanotechnologickém lepení. Když se chtějí přichytit, otevrou svou ulitu a vysunou nohu na skálu, vyklenou ji do tvaru přísavného zvonu a do oblasti podtlaku vystřikují malými kanylami proudy lepidla v podobě kuliček, micel. Ty tam praskají a uvolňují účinné podvodní lepidlo, které ihned vytvoří malý pěnový polštář. Na tomto tlumiči nárazů se poté mlž uchytí pomocí elastických jemných vláken, a může tak bez úhony přestat vlnobít.

Brouci, mouchy, pavouci i gekoni odhalili v Ústavu Maxe Plancka pro výzkum kovů ve Stuttgartu tajemství své přilnavosti. Přidrží se pomocí chloupků, které s podkladem vytvářejí van der Waalsovu vazbu. Čím je zvíře těžší, tím jemnější a početnější jsou chloupky.

Kdo lepí, ten žije

Život existuje, neboť jsou jeho součástí vzájemně spojeny pomocí důmyslné přilnavosti, která je dalším příkladem nanotechnologie. Ta se uplatňuje také v případě poranění, například při komářím bodnutí: místo vpichu zčervená, protože se rozšíří jemné krevní cévy, jimiž pak proudí spousta leukocytů, bílých krvinek. Buňky v místě vpichu vyměšují zvláštní látku, která působí jako feromon.

V závislosti na její koncentraci vylučují buněčné výstelky krevních cév a leukocyty vzájemně se doplňující přilnavé molekuly, které pomocí adheze zpomalují



Nohy mouchy zcela zblízka.



Slávka jedlá s jemnými vlákny a nohou.



Fraunhoferův ústav IFAM v Brémách zkoumá modifikovaná lepidla mlžů, která dokonce dokáží slepit rozbitý porcelán tak, že se nerozlepí ani v myčce na nádobí. Rovněž skupina studující „Nové materiály a biomateriály“ v Rostocku a Greifswaldu sleduje tuto problematiku.

Biominalizace

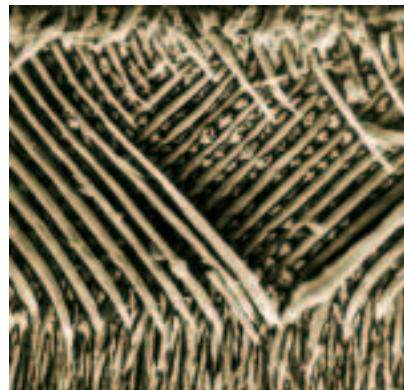
Mlži ale dokáží ještě více. Jejich perleť se skládá z nespočetných drobných krystalků uhličitanu vápenatého ve formě minerálu aragonitu, který by byl sám o sobě velmi křehký. V mušli jsou ale drženy pohromadě šroubovitými, vysoce elastickými proteiny. Tři hmotnostní procenta proteinu postačují, aby byla ulita ušně třitisícekrát tužší než čistý krystal vápence. Ježovky tak zesilují své až třicet centimetrů dlouhé bodliny, které pak mohou odolat vlnobití.

Proces biomineralizace může vytvářet také velmi složité struktury. V malé oblasti v blízkosti Filipín žije na mořském dně houba, která se nazývá „Venušin koš“.

Tato houba je ohnutá jako pochva turecké šavle, v podélné ose je však kulatá. Za svůj název vděčí struktuře vnitřní kostry své schránky. Ta se skládá z tkáně jemných křemičitých jehlic, proděravělých jako proutěný výplet opěradla dřevěné židle. Tato tkáň je propletena jak v pravoúhlé síti, tak i diagonálně.

Venušin koš je považován za mistrovské dílo biomineralizace: v průměru tři nanometry velké základní stavební prvky z oxidu křemičitého spojují buňky houby nejprve do tenoučkových vrstev. Ty se poté srolují a vytvoří křemičité jehlice, které jsou zase základním prvkem pletiva, které je schopno odolat velkým změnám tlaku.

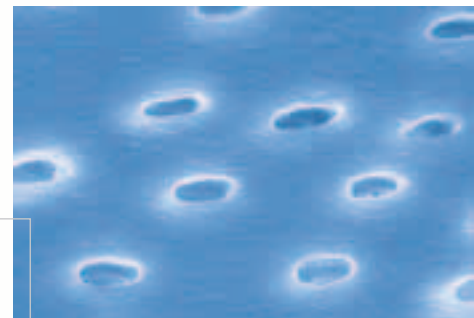
Technická biomineralizace: nanočástice opravují zuby



Trojrozměrné biominerální pletivo v zubní sklovině stoličky hraboše polního chrání žvýkací plochu před poškozením.



Jsou-li zuby velmi citlivé na studené nebo kyselé jídlo, může to způsobovat bolest. Za tuto citlivost jsou zodpovědné většinou malé kanálky v zubní sklovině, otevřené dentinové kanálky. Tyto kanálky lze pomocí nanočástic firmy SusTech z fosforečnanu vápenatého (apatit) a proteinu uzavřít desetkrát rychleji než pomocí tradičních apatitových preparátů. Nově mineralizovaná vrstva materiálu se chová v ústech stejně jako vlastní zubní sklovina.



Přímo strategický význam měla biomineralizace u řas rozsivek. Tyto mikroskopicky malé organismy se chrání pomocí schránek z kyseliny křemičité, jejichž hlavní součástí je SiO_2 , oxid křemičitý. Stejně jako křemenné sklo, které se rovněž skládá z oxidu křemičitého, jsou také schránky z kyseliny křemičité dosti odolné vůči mnoha žíravým kyselinám a louhům, a proto o nich nanotechnologové uvažují jako o reakčních nádobách pro nanokrystaly. Jednou z možností přípravy nanočástic pomocí chemické reakce, spočívá ve snížení reakčního objemu. Když se spotřebuje reakční látka, která do nich byla nanesena, zůstanou krystalky vytvořené reakcí malé. Ve schránkách rozsivek se nachází mnoho nanopórů nebo nanoreaktorů.

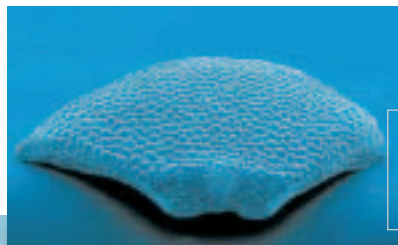
A jak vlastně vznikají tyto částečně velmi umělecky působící schránky rozsivek? První odpovědi jsou již na světě. Vědci z univerzity v německém Regensburgu zjistili, že varianty známé skupiny proteinů, „polyaminů“, mohou v roztoku kyseliny křemičité o správné koncentraci, vytvářet nanokuličky nastavitelného průměru mezi 50 a 900 nanometry. A to zcela spontánně, poháněny silami sebeuspořádání. Stejně spontánně by podle jednoduchých růstových modelů měly vznikat schránky z kyseliny křemičité.

Proč měly mít schránky rozsivek „strategický význam“? V roce 1867 zjistil Švéd Alfred Nobel, že křemelina, rozsivková zemina z fosilních usazenin schránek rozsivek, absorbuje nitroglycerin a přitom zmírňuje tendenci této výbušniny samovolně detonovat. Výslednou směs nazval Nobel „dynamitem“, jehož dobrý odbyt položil základ nadace, z níž je dneska financována Nobelova cena.

Schránky rozsivek – nahoře: analogie „Mengerovy houby“ (viz s. 21) – mají díky optimální formě nejvyšší stabilitu při nejnižší hmotnosti a pravděpodobně disponují systémy pro sběr světla pro své přístroje na fotosyntézu, kterými jsou chloroplasty.



Mořská hvězdice *Ophiocoma wendtii* je vybavena dokonalým systémem mikročoček k optickému vidění. Nahoře: pohled ve dne, dole: v noci.



Šupina schránky a pole mikročoček zároveň.

Nanotechnologie v přírodě: *Ophiocoma wendtii*, mořská hadice velikosti dlaně, byla dlouhou dobu hádankou. Tento tvor, z jehož kotoučovitěho těla opatřeného krunýřem vystupuje pět ramen, rychle vyhledá úkryt, pokud se blíží možní nepřítel, ačkoli se zdá, že nemá žádné oči. Ty byly posléze nalezeny v jeho vápencovém krunýři. Je totiž poset dokonalými poli mikročoček, které z celého krunýře mořské hadice dělají jedno složité oko. A proč nanotechnologie? Jednotlivé čočky vykrystalizovaly tak, že vlastnost vápence vytvářet dvojitý obraz nepřijde ke slovu – kontrola krystalizace na nanotechnologické úrovni. Čočky jsou pak pomocí malého přídavku hořčiku korigovány také na „sférickou aberaci“, aby se zabránilo nežádoucímu barevnému lomu. *Ophiocoma* tak ovládá nanotechnologické čištění, které kdysi dopomohly ke slávě Carlu Zeissovi.



Ústav pro nové materiály v německém Saarbrückenu, (INM), vyvinul nanočásticové procesy k pokrývání kovových částí hologramy, bezpečnými vůči paděláním a odolnými vůči oděru.



To také příroda neumí: keramika s přísadou nanosazí pro systémy zapalování žhavením odolné vůči korozi, například pro plynová topidla. Nastavitelná vodivost keramiky ušetří transformátor.

Meze přírody, výhody umělosti

Nanotechnologie je tedy čistě přírodní záležitostí, nicméně možnosti živé přírody jsou omezené, nemůže pracovat s vysokými teplotami, jako zpracovatelé keramiky, ani s kovovými vodiči. Moderní technika má naproti tomu k dispozici mnoho umělých podmínek – extrémní čistotu, chlad, vakuum – za nichž hmota odhaluje překvapivé vlastnosti.

K tomu patří zejména kvantové jevy, u nichž se zdá, že jsou částečně v silném rozporu se zákony každodenního světa. Tak dostávají částice v nanokosmu současně vlnové vlastnosti.

Atom, který „pevným“ tělesem, pak může stejně jako vlna procházet současně dvěma šterbinami

a za nimi se opět stát jedním celkem.

Částice získávají zcela nové vlastnosti, když se jejich velikost blíží nanometru: z kovů se stávají polovodiče nebo izolátory. Zcela nenápadné látky jako telurid kademnatý (CdTe) fluoreskují v nanokosmu všemi barvami duhy, jiné proměňují světlo na elektrický proud.

Když se částice stanou nanoskopicky malými, vzrůstá silně podíl jejich povrchových atomů. Povrchové atomy mají ale často jiné vlastnosti než atomy ve středu částice, většinou jsou reaktivnější. Například zlato se v nanoměřítku stává dobrým katalyzátorem pro palivové články (viz také Doprava).

Nanočástice lze pokrývat i jinými látkami, v materiálech z těchto kompozitních částic se pak spojuje několik vlastností. Příkladem jsou keramické nanočástice s organickými slupkami, které snižují povrchové napětí vody, určené pro potahování zrcadel v koupelně, která se neroší. Speciálně pokryté nanočástice magnetitu, oxidu železa, vytvářejí s olejem magneticky tvarovatelnou kapalinu, ferokapalinu.

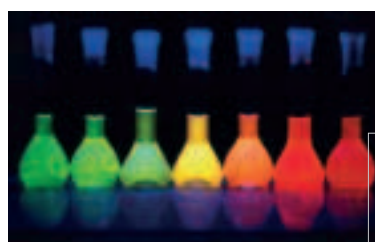
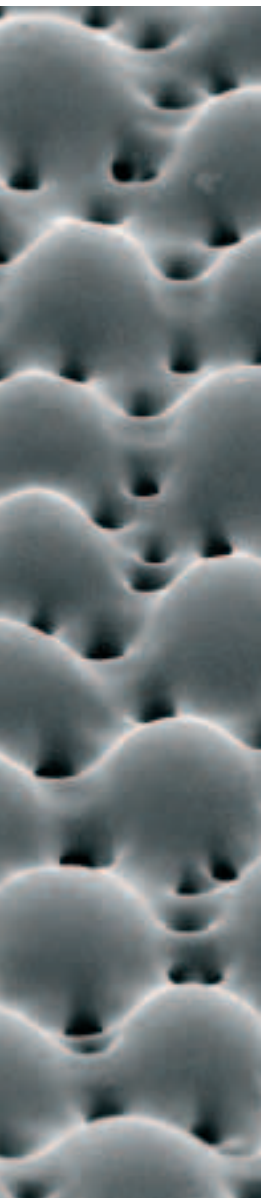
Ferokapaliny se používají ve stále větším počtu aplikací, například jako těsnící prostředek pro otočné průchodky vakuových nádob a kryty pevných disků, nebo v nastavitelných tlumičích strojů nebo aut.

Nikdo by se neměl nechat odradit složitostí nanotechnologie, dokonce i jablko je komplikované – buňky, ribozomy, DNA – což však nesnižuje oblibu tohoto ovoce. Protože jablka lze velmi snadno užívat – stejně jako dobrou nanotechnologii.

Nanočástice magnetitu v oleji. Kapalinu lze magneticky formovat.



„Magnetotacticum bavaricum“. Magnetické bakterie mohou syntetizovat řetězce nanomagnetitů používaných jako štelka kompasu.



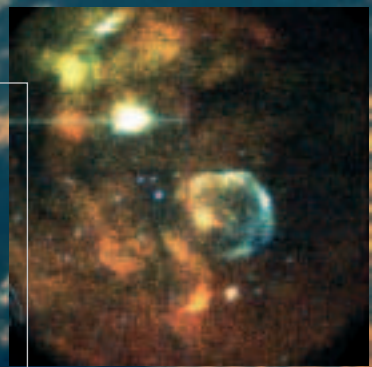
Částice teluridu kademnatého fluoreskují, barva závisí jen na velikosti částice.

Přístroje a metody

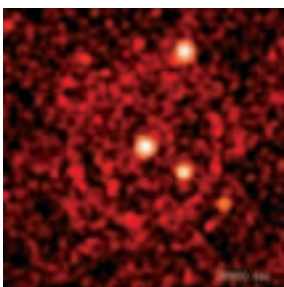
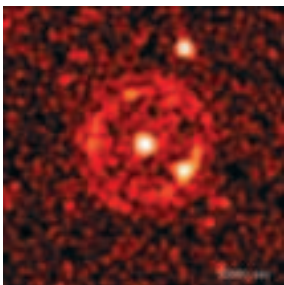
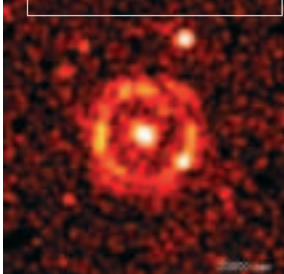
Oči pro nanokosmos



Nanotechnologie ve vesmíru: zrcadla evropského rentgenového teleskopu „Newton“ jsou vyleštěna v průměru na 0,4 nanometru a pozorují rentgenové záření v mlhovině Andromedy.



Vědecká senzace: záblesk gama záření vypaluje kruhy do mraku galaktického prachu.



Co má evropský rentgenový teleskop „Newton“ společného s nanotechnologií? Shromažďuje rentgenové záření vzdálených objektů pomocí 58 miskovitých zrcadel velikosti koše na papír, zasunutých do sebe jako slupky cibule, jejichž povrch je vakuově napařen zlatem.

Jichž průměrná nerovnost povrchu je pouze 0,4 nanometrů – mistrovský výkon, na němž má značný podíl společnost Carl Zeiss AG.

Precizní rentgenová zrcadla pro rentgenovou spektroskopii a mikroskopii jsou vytvořena z několika stovek vrstev dvou různě těžkých prvků.

Požadavky na takováto zrcadla jsou ještě extrémnější, vrstvy se mohou od ideálu odchýlovat průměrně jen o zlomky průměru atomu.

Tuto technologii ovládají ve Fraunhoferově ústavu materiálové a radiační techniky v Drážďanech.

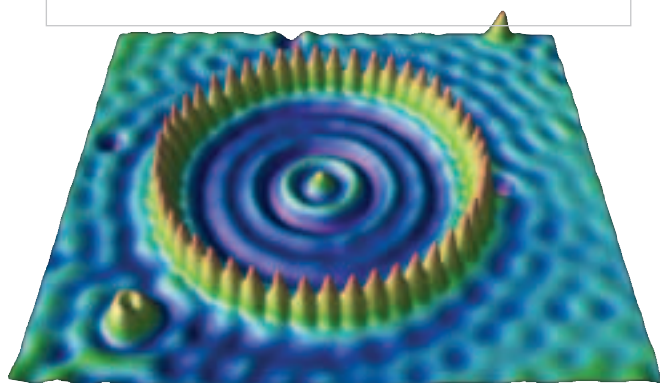
Trik s vícevrstevným reflektorem vynalezla pro oblast viditelného světla rovněž příroda:

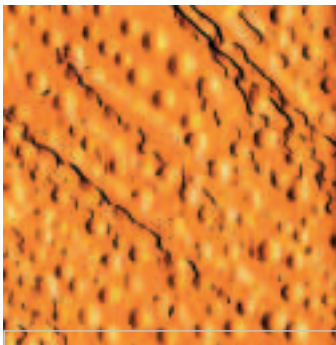
hlavonožec *Euprymna scolopes* (sepiola kropenatá), který je aktivní v noci, směřuje světlo ze světélkujících bakterií pomocí zrcadélek z proteinů reflektinu dolů a imituje tak pro nepřátele plovoucí pod ním kousek hvězdného nebe. Tento příklad nanotechnologie v oboru biologie byl nedávno objeven na Havajské univerzitě.

Rastrovací sondy

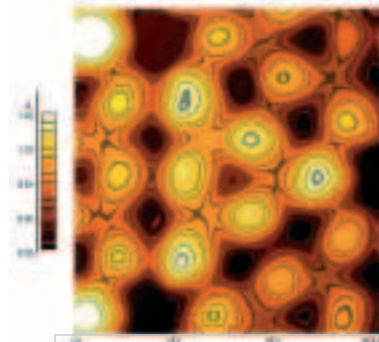
Rastrovací sondy jako oči pro nanokosmos se mohou zdát méně efektní, ačkoli za vývoj předchůdce všech rastrovacích sond, rastrovacího tunelového mikroskopu, byla udělena Nobelova cena. V rastrovacích elektronových sondách navádějí piezokrystaly hrot sondy znovu a znovu s mírným posunem nad předmět zájmu, například atomová pole. Pohyby jsou nepatrné, vzdálenost hrotu od pole atomu je často menší než průměr atomu.

„Quantum Corral“, připraven Donem Eiglerem, IBM. Vlny uvnitř odrážejí pravděpodobnost srážky s elektronem.

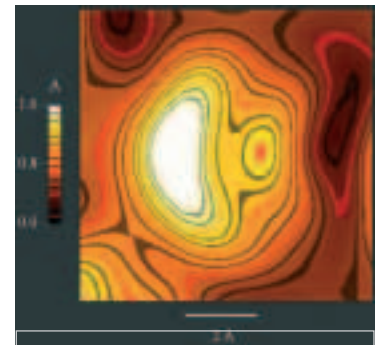




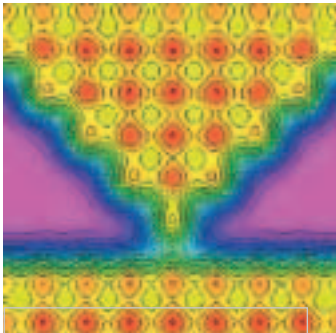
Krystal bromidu draselného s atomovými terasami. Obdobně vypadá sůl na vajíčku, které si dáváte k snídani.



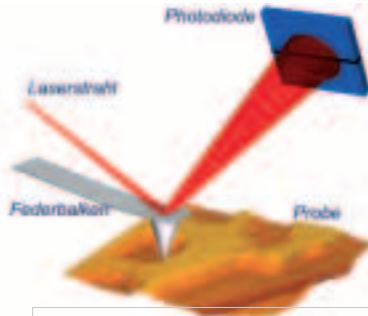
Křemík zblízka, obrysy hustoty elektronů v rastrovacím silovém mikroskopu.



Přední atom hrotu sondy uvolňuje dva elektronové oblaky, orbitaly, úplně jako v učebnici.



Klasický hrot rastrovacího tunelového mikroskopu (schéma).



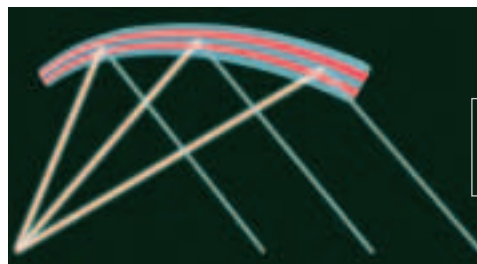
Rastrovací silový mikroskop: vychýlení snímací jehly je přenášeno laserovým paprskem na fotobuňku.



„Kapacitní“ sondy lze použít k zobrazení spínačích procesů na čipu.

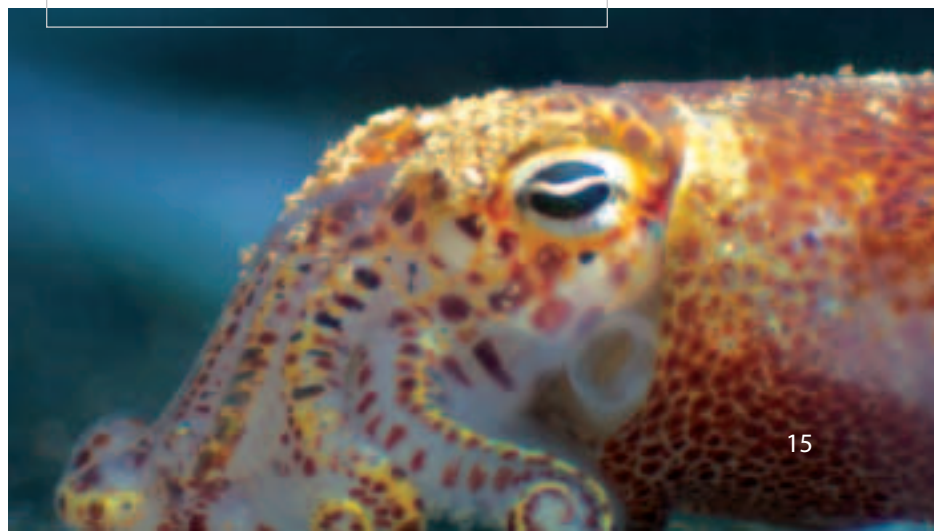
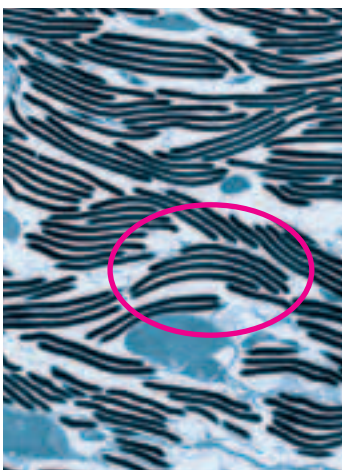
Přitom se něco děje: někdy proběhne proud, někdy jsou odhalena droboučká magnetická pole. Počítače znázorňují měření graficky na ploše, vzniká velmi precizní obrázek až do posledního atomu (podle zvoleného principu měření). Zvláště mazaný je rastrovací silový mikroskop. Ten zaznamenává nepatrné síly, kterými působí atomy atomového pole na přední atom hrotu sondy.

Touto metodou lze dokonce nahlédnout do elektronových slupek atomů, a odhalovat tak tajemství na nejnižší úrovni. Současný světový rekord, pokud jde o rozlišení, drží Univerzita v Augsburgu.

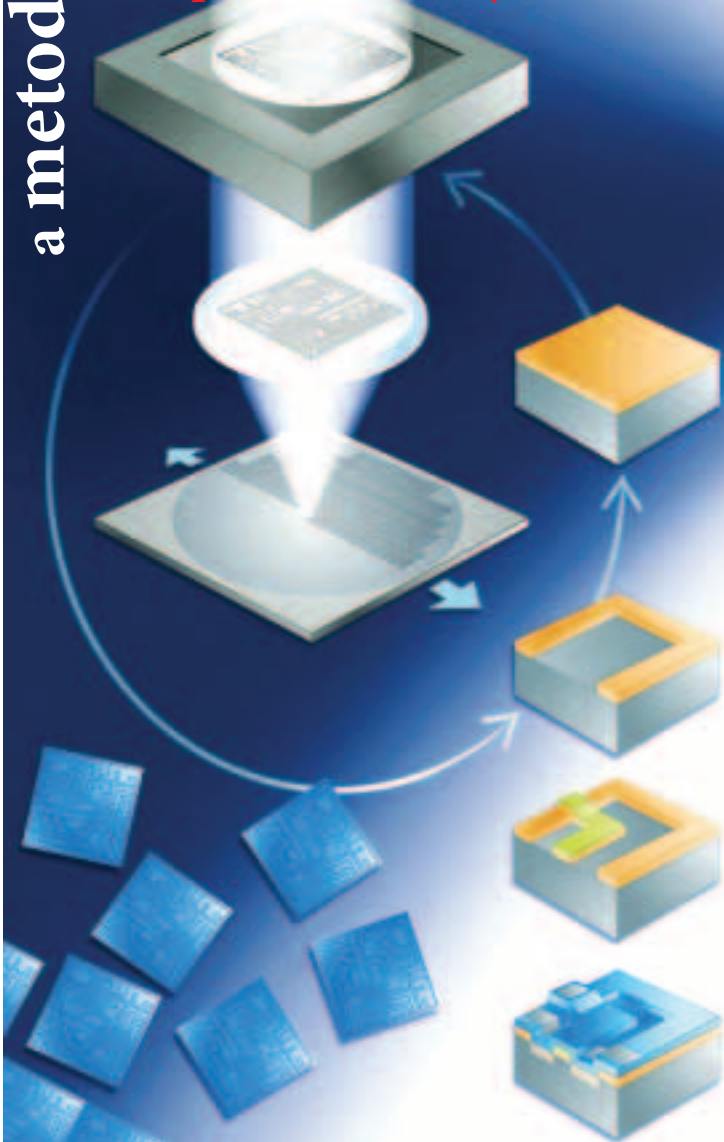


Zakřivené vícevrstvé zrcadlo pro vysoce výkonnou rentgenovou analýzu.

Euprymna scolopes má své nepřátele vícevrstvními světelnými reflektory z proteinu reflektinu. Světlo dodávají světélkující bakterie.



Zapísovací nástroje



Litografie

Ve světě počítačů znamená litografie techniku přípravy počítačových čipů pomocí světla. Přitom se vysoce lesklý povrch polovodičového materiálu, křemíkové destičky, pokrývá ochranným lakem, který je citlivý na světlo a na nějž se promítá obraz struktury. Vyvíjení ochranného laku odkrývá exponovaná (nebo neexponovaná) místa destičky, která potom získávají požadované elektrické vlastnosti pomocí procesů vytvářejících strukturu, jako je leptání, implantace cizích atomů a nanášení. Opakováním procesu se stále novými obrazy struktury, maskami, vznikají nakonec nejsložitější struktury, jaké kdy člověk vytvořil: vysoce integrované obvody, čipy. Mezitím hustota tranzistorů vzrostla tak, že na bod označený špičkou tužky by mohlo být uloženo půl milionu a více tranzistorů.



Proces litografie: čip je trojrozměrná struktura, na níž jsou všechny spínací prvky uspořádány v jednotlivých vrstvách. U moderního vysoce výkonného čipu je zapotřebí 25 až 30 takových vrstev, přičemž každá z nich vyžaduje vlastní litografickou masku. Struktury masky se promítají na destičku pomocí světla a systému čoček tzv. wafer stepperu, což je přístroj podobný diaprojektoru. Každá nová maska souboru masek přidává čipu novou funkčnost a zvyšuje jeho složitost.

Moderní čipy mají struktury, které jsou menší než vlnová délka litografického světla: lasery s fluoridem kryptonu s vlnovou délkou 193 nanometrů se používají k vytvoření šířek struktury 130 a co nevidět 90 nanometrů, což je možné pomocí důvtipných optických triků jako „metoda optické korekce“ a „fázový posun“. V současnosti se pokládají základy extrémní ultrafialové litografie, EUV litografie, která používá vlnové délky světla od 13 nanometrů a která bude nakonec schopna vytvořit struktury v křemíku o šířce pouze 35 nanometrů.

Požadavky na materiál masky jsou extrémní, například deset centimetrů dlouhá destička se při zahřátí o jeden stupeň Celsia může roztáhnout jen o několik desetin nanometru, tj. pouze o několik průměrů atomu. Požadovaná rovinnost v rozmezí několika průměrů atomů také leží na hranici toho, co je v principu proveditelné.

Přeměna Drážďan na centrum elektroniky je úspěchem podpory německého výzkumu. V regionu vzniklo přibližně 16 000 pracovních míst s vysokým inovačním potenciálem pro celou německou ekonomiku. V projektech podporovaných německým Spolkovým ministerstvem pro vzdělávání a výzkum vyvinulo 44 partnerů z průmyslu a státních výzkumných zařízení (z toho 21 středních podniků) normu pro budoucí použití 300milimetrových waferů, plátek z křemíkového krystalu, při výrobě vysoce složitých integrovaných obvodů. Technologickému centru pro tvorbu masek v Drážďanech, v němž se vyvíjejí prostředky pro strukturování budoucích nanoelektronických čipů, přitom připadá klíčové místo.



Prototyp tzv. EUV-wafer stepperu pro výrobu budoucích generací mikročipů.

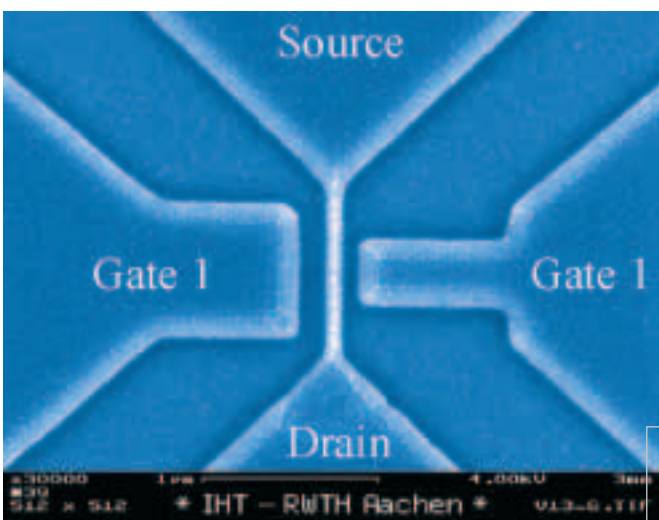
Nano-tisk pro středně velké podniky

Slyšíme-li o nanoelektronice, představíme si většinou zařízení za miliony či miliardy, která díky obrovskému objemu produkce vyrábějí cenově dostupné výrobky.

Existují však cesty do nanokosmu, které jsou k dispozici i pro středně velké podniky. Tyto metody mohou na první pohled vypadat archaicky; například při procesu UV-nano-tisku jsou nanostruktury vytlačovány mechanicky do laku, který pokrývá elektronický nosný materiál, například křemík. Šablona, která obsahuje drobné nanostruktury, je z křemenného skla a křemenné sklo propouští UV záření. Když se razidlo vnoří do laku, impuls UV záření vyvolá polymerizaci fotosenzitivního laku, dojde tedy k jeho vytvrzení. Pak se razidlo vyjme a reliéf v laku pod ním se částečně odstraní. Odkrytý křemík lze poté zpracovat podle přání; vícenásobným opakováním tohoto procesu vždy s jiným razidlem vzniká nakonec složitá struktura čipu s tranzistorem,

vodiči atd. Při laboratorních pokusech bylo dosaženo minimálních velikostí struktur 10 nanometrů. Proces se neomezuje na elektronické součástky, takto lze zcela jemně strukturovat také kovy nebo plast. Proces by mohl vést také vytvoření laboratoře přímo na čipu. Náklady na jeden stroj pro UV-nanotisk se v současnosti odhadují na méně než jeden milion eur, což je zlomek toho, co stojí odpovídající přístroje moderní běžné továrny na výrobu čipů. UV-nanotisk však přesto nepřináší levnější výrobky, jelikož je jeho kapacita mnohem menší. Pro speciální minisérie („mini“ v porovnání s velkými sériemi výrobců procesorů) by se však mohl stát upřednostňovaným prostředkem.

Zerodur pro litografické masky: tato speciální keramika je stálá i v nanoměřítku.



Tisk nanokosmu: V Ústavu polovodičové techniky (IHT) při RWTH Aachen již pomocí mechanicko-optických metod realizovali struktury na čipu o velikosti 80 nanometrů. Použití: malé série velmi složitých obvodů.

Tradiční spektrometr pro rentgenovou strukturální analýzu. Těmto přístrojům vděčí věda za velkou část svých poznatků o nanokosmu.

Podzemní dostihová dráha pro rychlé elektrony



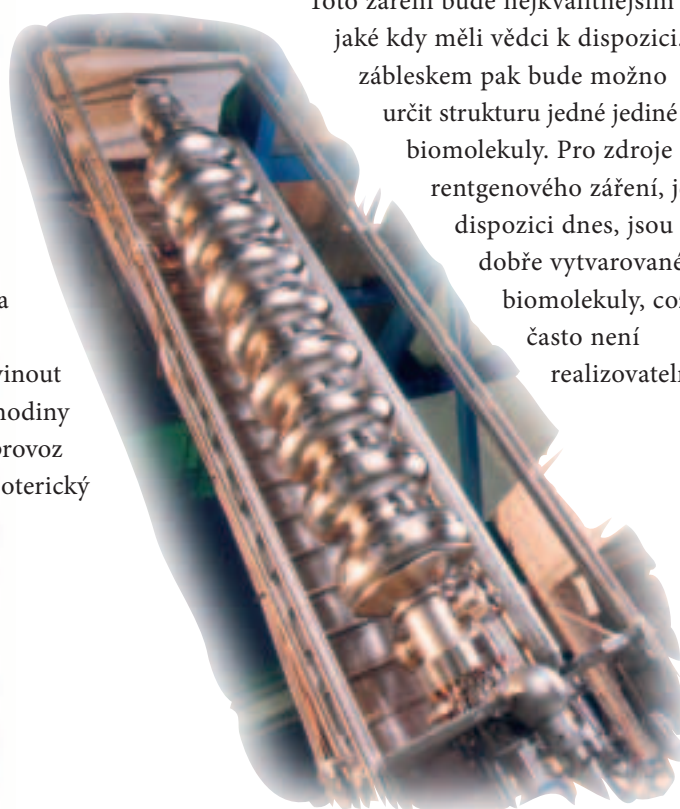
Kvantové jevy

Na Univerzitě Ludwiga Maxmiliána v Mnichově je hmota již rutinně hnána k nanotechnologickým extrémům, při nichž pak vykazuje bizarní vlastnosti. Pokud se například pára sestávající ze stovek tisíc atomů rubidia zchladí na miliontinu stupně nad absolutní nulu (-273 °C) a stlačí se dohromady pomocí magnetického pole, spojí se atomy do tzv. „Bose-Einsteinova kondenzátu“. V něm atomy tvoří jednotku, jako šik pochodujících vojáků. Kvantová optika z Mnichova dokáže takovouto řadu uspořádat do trojrozměrné sítě ze stojatých laserových vln a manipulovat s ní, například učinit světelnou past tak silnou, že se jednotka bloku rozpadne na „Mottův kondenzát“. Tato práce byla oceněna Nobelovou cenou za fyziku v roce 2001. Proč? Výzkum tohoto druhu naplňuje životem kvantovou teorii a ta má v nanokosmu hlavní slovo. Kdo jí přesně porozumí, může například vyvinout přesnější časové standardy. Přesnější hodiny mohou zase pomoci urychlit datový provoz na internetu – tedy i tento zdánlivě esoterický výzkum se přeci jen vyplatí.

Rentgenový laser XFEL – silné světlo pro nanotechnologii

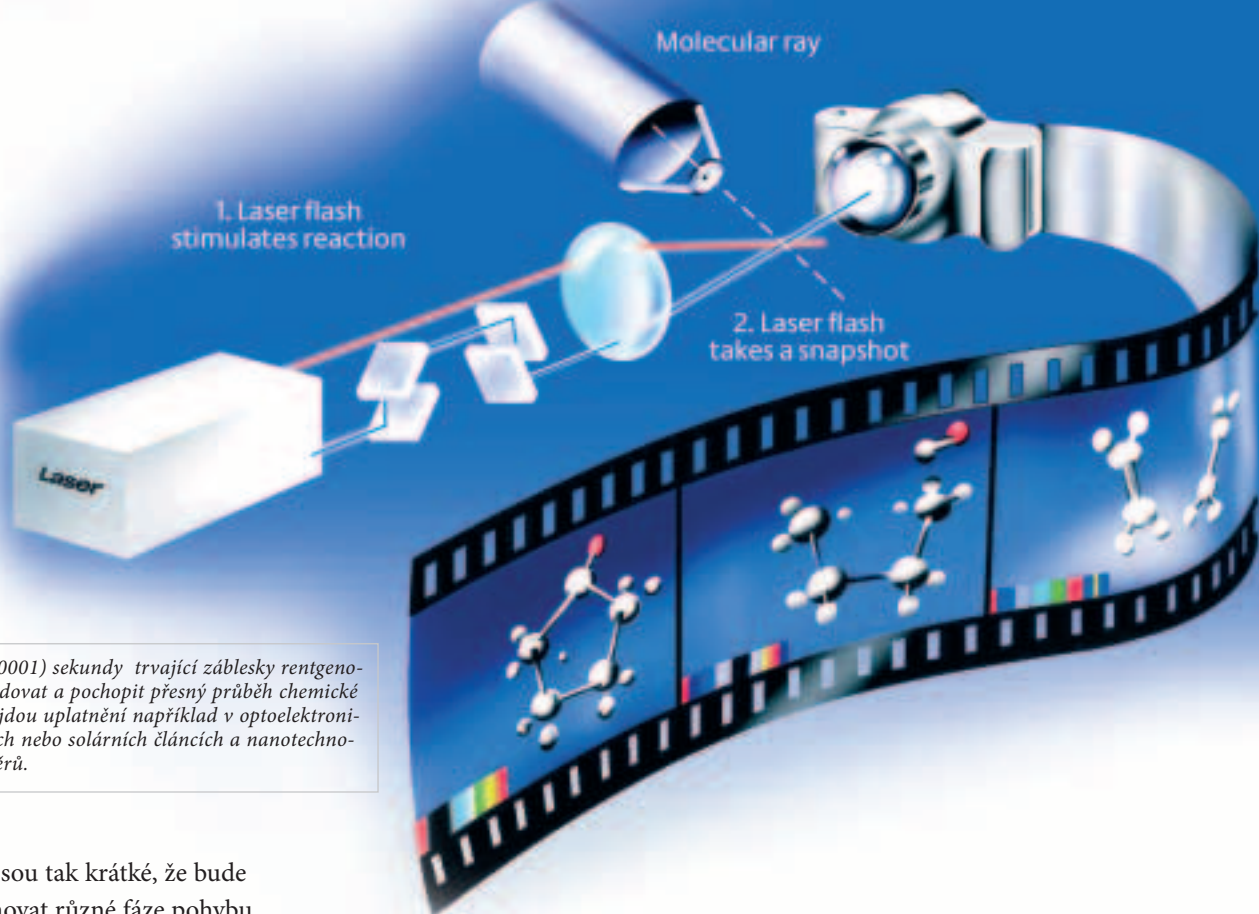
Když půjde vše podle plánu, zažije v roce 2012 pár miliard elektronů něco velmi vzrušujícího. Začne to v prostorách DESY v Hamburku-Bahrenfeldu, kde budou pomocí supravodivého urychlovače elektronů zrychleny na velmi vysokou energii, aby byly o 3,3 kilometru dále pomocí magnetů systematicky spirálovitě vychylovány z dráhy. Při tom vznikne krátkovlnné rentgenové záření zcela zvláštního druhu: laserové záření.

Toto záření bude nejkvalitnějším zářením, jaké kdy měli vědci k dispozici. Jediným zábleskem pak bude možno určit strukturu jedné jediné (!) biomolekuly. Pro zdroje rentgenového záření, jež jsou k dispozici dnes, jsou zapotřebí dobře vytvarované krystaly biomolekuly, což často není realizovatelné.



„Mottův kondenzát“ – exotická hmota pro ultrapřesné měření času

Supravodivé prvky pro urychlování elektronů



Femto - (0,000000000000001) sekundy trvající záblesky rentgenového laseru umožňují sledovat a pochopit přesný průběh chemické reakce – reakce, které najdou uplatnění například v optoelektronice, fotovoltaice, palivových nebo solárních článcích a nanotechnologiích nejmenších rozměrů.

Rentgenové záblesky jsou tak krátké, že bude možné doslova nafilmovat různé fáze pohybu molekuly. Co se může při použití jiných metod jevit jako rozmazaný vzdušný vír, nabývá pomocí rentgenového laseru rozeznatelný tvar.

Bude možno odhalit tajemství tření. Co a jak se vzájemně tře, to určují nanoskupiny několika málo stovek atomů.

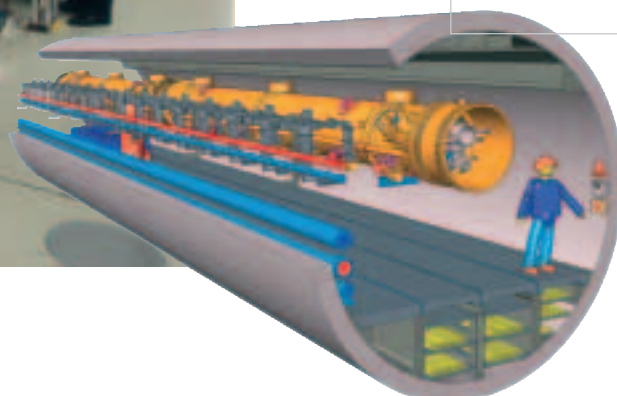
Vlastnosti jednotlivých klastrů, shluků několika stovek atomů, lze rovněž lépe zkoumat pomocí XFEL než pomocí jakéhokoli jiného přístroje.

Zkrátka: tímto největším evropským projektem v oblasti nanotechnologie se věda a technika posunou o významný kus kupředu. Plánované celkové náklady ve výši 684 milionů eur (stav z roku 2003) se podle všech předpokladů více než vyplatí. V žádném případě nejen díky vlastnímu poznání, ale i finančně.



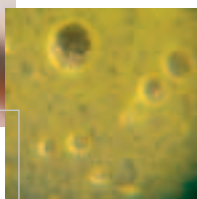
Laser s volnými elektrony ve výstavbě.

Znázornění podzemní dráhy k urychlování elektronů.



Sol-gel metody pro přípravu nových materiálů

Béarnská omáčka (*sauce Bearnaise*) byla pojmenována na počest francouzského krále Jindřicha IV., protože pocházel z kraje Béarn. Tato omáčka je pěkným (a velmi chutným) příkladem koloidního systému. O koloidu hovoříme, pokud je mnoho malých částic jedné látky stabilně rozptýleno v jiné látce. V případě béarnské omáčky jsou kapičky octa suspendovány v roztaveném másle. Krémy a nátěrové barvy jsou rovněž koloidy.



*Sol-gel pro krále:
Béarnská omáčka na počest
francouzského krále Jindřicha IV.*

Pomocí sol-gelové techniky se koloidy dostávají rovnou do oblasti špičkových technologií. Při použití sol-gelové techniky se z rozpustných sloučenin, například sloučenin křemíku, vyrábí (většinou koloidní) sol, v němž kapičky obsahující křemík plavou v nosné kapalině. Po nastříkání na plech a zahřátí nosná kapalina zmizí a kapičky křemíku vytvoří síť, zgelovají. Nakonec se gelová síť stává tvrdou keramickou vrstvou. Plech je tak chráněn před korozí a poškrábáním.

*Vhodný pro nejjemnější
částice: reaktor
pro sol-gelové částice.*

Sol-gelová technika existuje ve stovkách variant pro velké množství látek. Gelový sol lze formovat rovněž do tvaru vláken, která se po vypálení mění na keramická vlákna. Lze z něj také vyrábět nanoprášky, které se podstatně snáze a při nižších teplotách než tradiční prášky spékají do keramických těles, jež mohou odolat extrémně vysokým tlakům a teplotám.

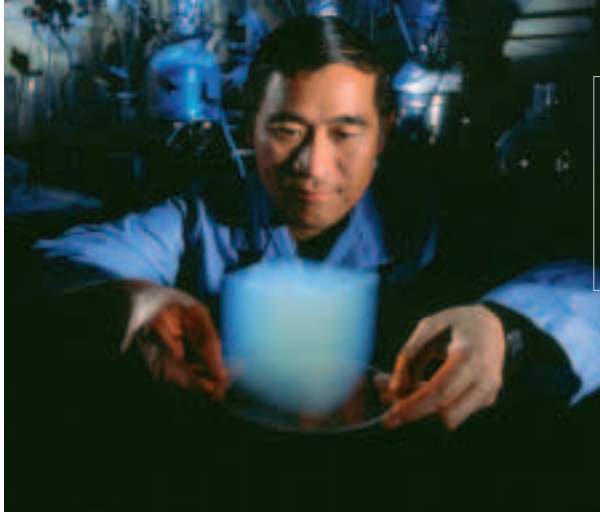
Sol-gelová technika je vhodná pro výrobu důmyslných optických komponent, například optických vláken, zdvojovačů kmitočtu, polí mikročoček a tak dále. Tento druh nanotechnologie neslibuje nic menšího než revoluci v materiálové technologii.

Rozpouštědlo gelu lze v určitých případech odstranit tak, že si gelová tělíska zachovají svůj vnější objem, pak získáme vysoce porézní materiál velmi malé hustoty, aerogel.





Aerogelem naplněné dvojité zasklení zabraňuje tepelným ztrátám.



Aerogel jako vědecký lapač prachu. Dopadající částice jsou bezpečně uzavřeny v rozpuštěné aerogelové hmotě.

Kometu „Wild 2“ navštívil aerogel.



Aerogely

Aerogely jsou každodenní záležitostí, jsou odedávna k dostání v cukrářství ve formě sněhových pusinek. Jedná se o oslazený, našlehaný a upečený bílek. Když vezmete pusinku do ruky, ucítíte, jak se vaše prsty ohřívají. To spočívá v tom, že vzduch v pusince je uzavřen v milionech mikroskopicky malých bublinek. Proto nemůže cirkulovat, ani nedochází k výměně tepla, to dělá z pusinek výborný tepelný izolátor, jako polystyren. Obdobně vystavěné aerogely z pěnového skla jsou rovněž prvotřídním tepelným izolátorem. Vaječný bílek je bezbarvý, avšak pusinky jsou bílé. Důvodem je vytvoření komůrkové struktury v našlehaném bílku, kterou tvoří bublinky o velikosti mikrometru. V jemných strukturách o velikosti mikrometru se světlo rozptyluje do všech barev, výsledkem je proto bílá barva. Póry o velikosti nanometru již světlo nerozptylují. Přes nanoporézní pěnu ze skelného materiálu je vidět skoro stejně jasně jako přes obyčejné okenní sklo. Dvojité sklo vyplněné takovouto pěnou slouží jako dobré okenní sklo s vynikajícími tepelně-izolačními vlastnostmi.

Protože takovéto pěny se skládají téměř pouze ze vzduchu, nazývají se aerogely. Za označení „gel“ vděčí výrobnímu procesu: k vodnému roztoku vhodného materiálu se přidá katalyzátor, díky němuž vzniknou droboučké, tenkostěnné duté kuličky, které se spojují dohromady do řetězců a poté shluku řetězců, gelu. Z něho se sušením stává aerogel lehký jako pírko.

Aerosol, který docestoval nejdále, se nachází v analyzátoru prachu CIDA společnosti *Hoerner & Sulger GmbH*, který v lednu 2004 po pěti letech putování a po uražení dráhy v délce 3,22 miliard kilometrů zachytil prach komety „Wild 2“. Materiál, který je prostoupen mnoha bublinkami, má velký vnitřní povrch. Největší možný povrch, nekonečně velký, má Mengerova houba, přitom její objem je nulový.

Tato houba existuje pouze v hlavách matematiků. Skutečný vnitřní povrch aerogelů je však rovněž dostatečně velký, aby umožňoval úžasné efekty. Aerogel z uhlíku o velikosti kostky cukru má vnitřní povrch 2 000 metrů čtverečních. Tyto a další vlastnosti zajišťují aerogelům z uhlíku zaručené místo v energetických technologiích zítřka.

Dají se z nich vyrobit kondenzátory s kapacitou až 2 500 faradů, které jsou vhodné jako akumulátory energie pro energetické špičky například v elektroautomobilu.

Geniální pěna umožní rovněž vyrábět lepší lithiové baterie, nové druhy palivových článků atd. Není právě obvyklé, aby něco, co je jako nic, mělo takový potenciál. Jak typické v nanotechnologii!

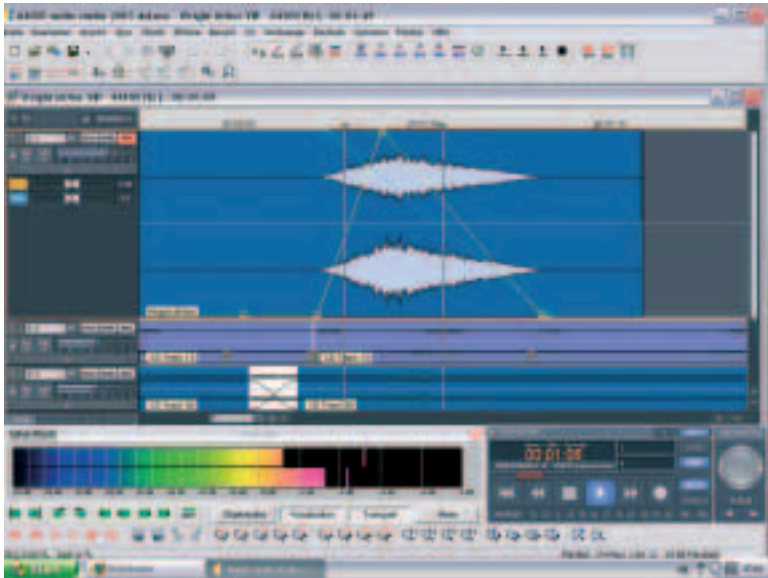
Mengerovu houbu používají matematici jako „univerzální křivku“. Vzniká, když se donekonečna opakuje níže uvedený postup.



Nanotechnologie pro společnost

Zasíťovaný svět: nanoelektronika

Z notebooku ve studiu ke studiím v notebooku –
stav techniky



Úkol zní: vypracovat čtyřapůlminutový rozhlasový program o prvním motorovém letu bratří Wrightů s trochou atmosféry.

Co udělá rozhlasový autor, vybavený

notebookem, který svou práci dělá rád? Nejprve se porozhlédne na místě, kde to všechno začalo.

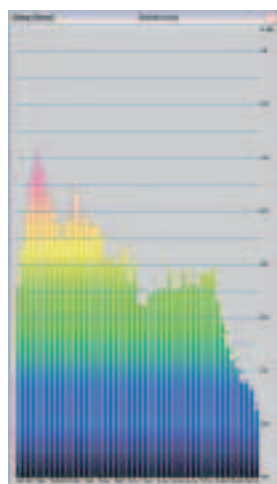
Virtuální glóbus ukazuje městečko Kitty Hawk na několik kilometrů širokém pásmu země na pobřeží severního Atlantiku, na okraji *Kill Devil Hills*, takže bratři Wrightové mohli slyšet vlnobití. To je možné získat ze zvukového archivu, stejně

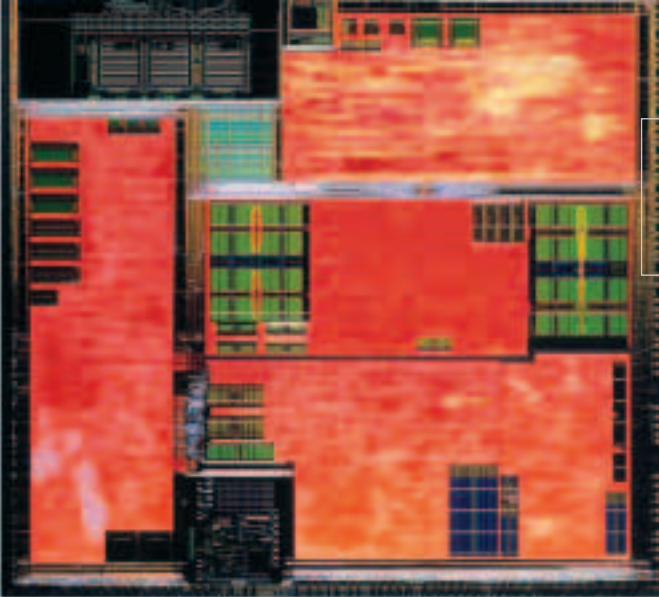
jako silný vítr při prvním letu, o němž se píše v Encyclopaedii Britannica, se šelestěním trávy na dunách. Motor se otáčel rychlostí 1 200 otáček za minutu, ve zvukovém archivu je rovněž zaznamenán zvuk veterána Chryslera, který pěkně hluboce vrčí. Spektroskop ve zvukovém programu ukazuje hodnověrné frekvence.

Dosud je vše v pořádku. První let trval dvanáct sekund. Vybrána je pasáž, v níž tón na konci klesá kvůli Dopplerově efektu (po přeletu letadla kolem mikrofону). Všechno je ve zvukovém programu ukládáno na různé stopy. Letadlo letí zleva doprava, což lze nastavit panoramatickými křivkami.

Hluk motoru se zvyšuje a snižuje, což lze nastavit křivkami hlasitosti. A pak již letí Orville Wright velmi přesvědčivě se strojem *Flyer One* přes *Kill Devil Hills*, stejně jako 17. prosince 1903, i s vlnobitím a pískáním trávy na dunách – vše v notebooku. (Jiní průkopníci létání, například Němec Gustav Weißkopf, svištěli vzduchem již v roce 1901, ale nepodařilo se jim jejich vynálezy prosadit v praxi.) Ještě před dvaceti lety by byla taková akce pro jednotlivce cenově nedostupná a muselo by se použít zařízení vážící tuny, dneska postačí notebook, malý psací stůl a pár hodin času. Encyklopedie si našla místo na DVD, které nahradí 30 těžkých svazků a pro rychlé hledání je nesrovnatelně pohodlnější než papírová verze. Zvukový program je zcela nehmotně uložen na pevném disku a nabízí v mnoha virtuálních přihrádkách nekonečné množství efektů. Vývoj moderních počítačů spustil vlnu dematerializace, která měla za následek rovněž snížení energetických toků. Pokles cen hardwaru a softwaru zároveň vložil i méně majetným tvůrčím lidem do rukou úžasně výrobní prostředky.

V budoucnu nebude knihovna na zápěstí ničím neobvyklým, stejně jako interaktivní mobilní komunikace.





Televizní studio na nehtu:
multimediální čip s řídicí jednotkou pro
zobrazení s vysokým rozlišením a se
spotřebou energie jako kapesní svítilna.

Nano vpřed! Nadcházející léta

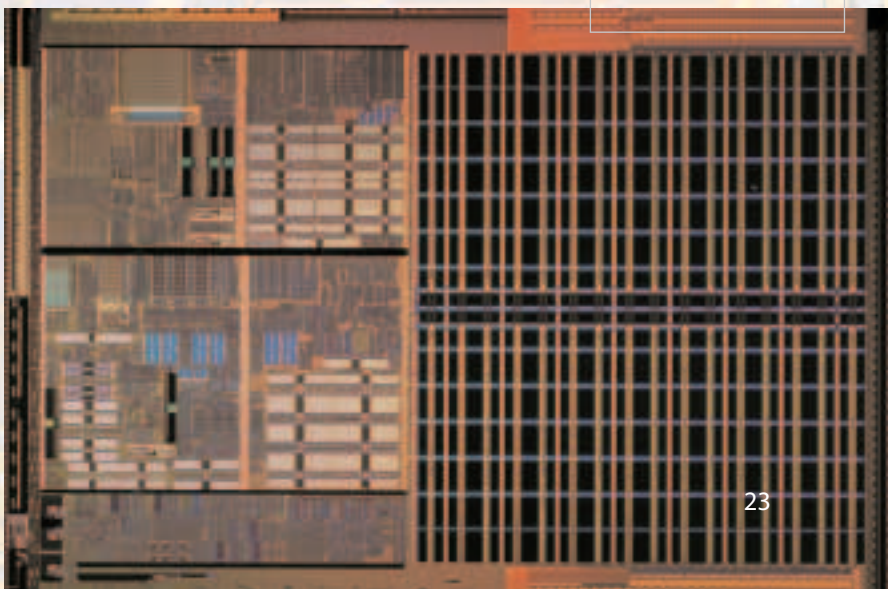
Tranzistorová technika, která se dnes používá v počítačových procesorech, se nazývá CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), a byla vyvinuta mimo jiné pro první elektronické náramkové hodinky, neboť spotřebovávala mnohem méně energie, než jejich předchůdci. Od 70. let minulého století odborníci pravidelně předpovídají, že technika v období deseti až patnácti let narazí na své hranice. Tak je tomu také dnes. Tentokrát má elektronický průmysl samozřejmě pádný důvod předpokládat zlom v tradici pokračujícího zmenšování struktur: na cestě do mikrokosmu je postupně viditelná zrnitost hmoty, její atomová struktura. Elektronové obaly atomu jsou ale nejmenší stavební prvky, které se za normálních podmínek dají spojovat, aby vytvořily trvalé technické struktury. Blížíme se tedy k zásadní hranici. Vodivá dráha nemůže být tenčí než atom.

Technologii CMOS byly samozřejmě již dlouho předtím stanoveny hranice, které někdy působí naprosto kuriózně. Vodivé dráhy, které spojují tranzistory na čipu, jsou nyní už tak malé, že by atomy hliníku byly nestabilní pro tyto aplikace. Byly by jednoduše odplaveny tokem elektronů jako štěrk v potoce, odborný výraz se nazývá „elektromigrace“.

Řešení problému nabízejí vodivé spoje z mědi, která je ještě lepším vodičem, což urychluje tok signálů na čipu. Vodivé spoje jsou nyní na sebe natlačeny tak těsně, že tím vzniká citelná kapacita, jako u kondenzátoru. Pokud by se tento efekt nezohlednil v designu čipu, mohl by čip vypadnout z rytmu. Určité struktury tranzistorů na čipu se postupně zmenšují až pod hranici dvaceti nanometrů. Tím se dostáváme do říše kvantové teorie, začíná zde působit tunelový efekt: proudy tečou tam, kde by u větších tranzistorů žádné téct neměly – elektronický systém stavidel dostává trhliny. Proudů jsou sice nepatrné, ale při milionech tranzistorů se sečtou do značných ztrát a procesor se zahřívá. Tyto bludné proudy mimoto způsobují logické chyby, které mohou být fatální. U velmi jemných struktur nakonec začíná (jak popisuje kvantová teorie) být patrná vlnová povaha elektronu.

Tuto okolnost však považuje mnoho vědců rovněž za příležitost dostat se k zcela novému druhu elektroniky, která by mohla přinést kvantový počítač, jenž by nám zpřístupnil zcela nové matematické vesmíry.

64bitový procesor firmy AMD pro počítačové aplikace se 106 miliony tranzistorů vyrobený 130nm technologií.



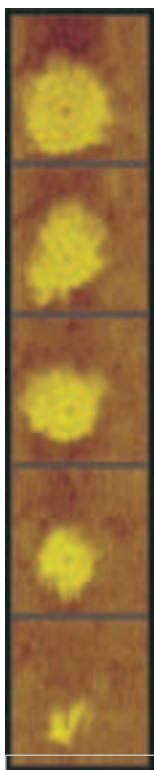
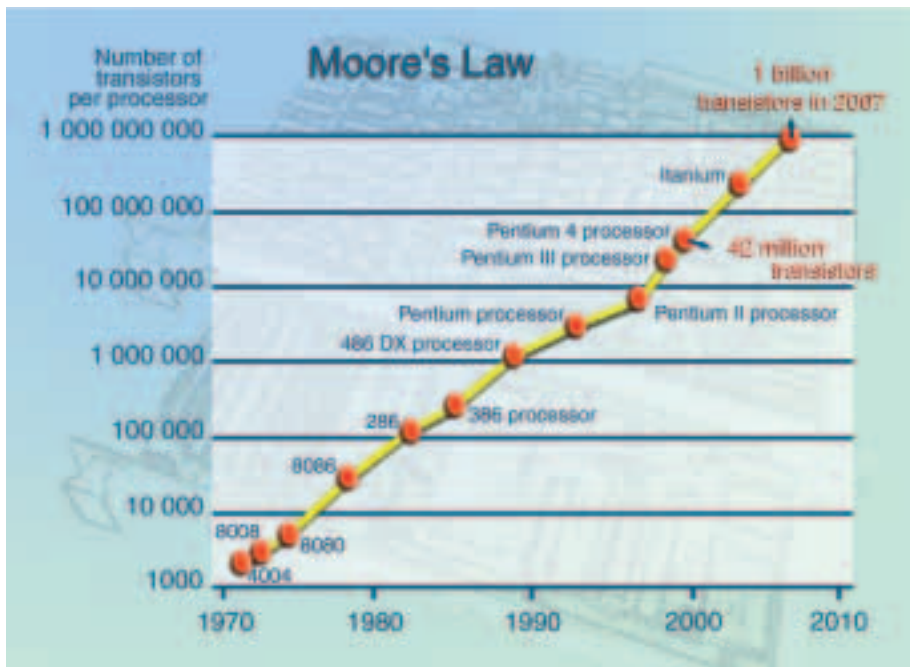
Moorův zákon na hranici

Již v roce 1965 zjistil Gordon Moore, spoluzakladatel firmy Intel, že se kapacita mikročipů zhruba každých 18 měsíců zdvojnásobuje.

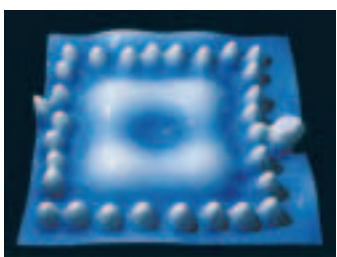
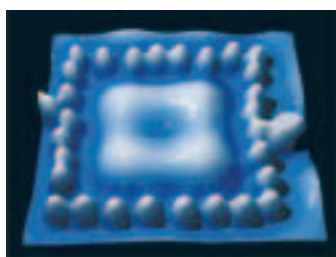
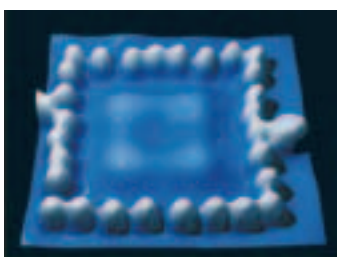
Tento „zákon“ je nyní zpochybňován také jedním velmi lidským problémem. Zatímco je skutečně dosaženo přibližně 50procentního ročního růstu počtu tranzistorů na jednom čipu, analytici si stěžují, že produktivita designu čipu se zvyšuje pouze o 20 procent ročně. Průmysl se tomu pokouší čelit stálým zvětšováním designerských týmů, ty nyní dosáhly velikosti 250 až 300 osob, což je počet, který se již nedá řídit.

Proti věčnému růstu stojí i 2. Moorův zákon, podle něhož jde zmenšování struktur ruku v ruce se zdražováním výrobních zařízení. Dokud všechna tato omezení trvale nepříznivě omezují další vývoj, bude nanotechnologie zaujímat v nanoelektronice stále větší místo. Již dnes mají

současné procesory nejmenší struktury pod 100nm a více než 100 milionů tranzistorů. Pokud uvěříme plánům polovodičového průmyslu, jehož prognózy jsou většinou reálným technickým vývojem překonány, pak nás čekají za několik málo let 45nm struktury (2010), které nám nadělí více než miliardu tranzistorů na čipu. Z toho vyplývají možnosti, o nichž si dnes můžeme jen nechat zdát.



Malý ostrůvek křemíku na křemíkovém krystalu se při teplotě 450 stupňů pomalu rozpouští. Znalost těchto procesů je důležitá pro kvalitu tenkých vrstev.



Atomy manganu na stříbře, Univerzita Christiana Albrechta v Kielu. Elektrony uzavřené v ohradě z atomů manganu vytvářejí modely distribuce, které závisí na použitém elektrickém napětí. Takovéto efekty budou důležité pro elektroniku zítřka.



Phase-change RAM (PRAM)

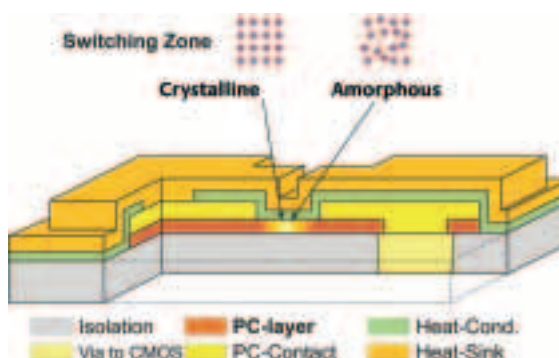
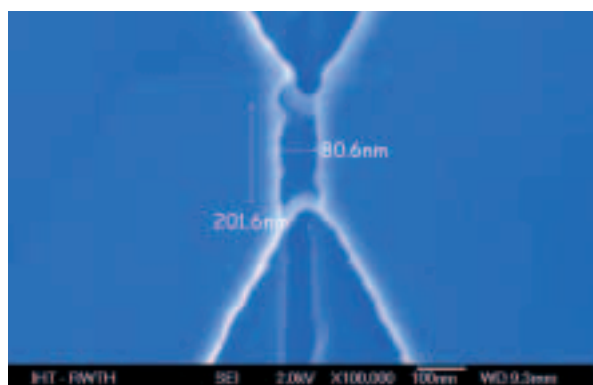
MDnešní datové paměti jsou založeny na rozmanitých technologiích, z nichž vyplývají různé výhody a nevýhody. Magnetomechanický pevný disk má velmi vysokou hustotu paměti, ukládá data i bez stálého napájení proudem, je však velmi pomalý. DRAM (Dynamic Random Access Memory) je rychlá, bez stálého „obnovování“ v podobě elektrických impulzů však data ztrácí. Flash paměti, které se nacházejí například v MP3 přehrávačích, mobilních telefonech a kamerách, uchovávají data i bez napájení proudem, nejsou ale tak rychlé jako DRAM a lze je přepsat přibližně pouze milionkrát. Budoucími nanotechnologickými koncepcemi ukládání dat, které v podstatě slibují pouze výše uvedené výhody – vysokou hustotu paměti, rychlost, uchování dat bez napájení proudem a dlouhou životnost, jsou z dnešního pohledu paměti MRAM (Magnetic Random Access Memory) a jak bude popsáno níže, phase-change RAM.

Pevné látky se mohou vyskytovat ve dvou extrémních stavech: krystalický stav, pak jsou atomy přesně uspořádány jako smrky v užitém lese, nebo amorfním, kdy jsou atomy uspořádány náhodně. Běžnými amorfními tuhými látkami jsou skla, například křemenné sklo; stejná látka, oxid křemičitý, existuje v obchodě s minerály rovněž v krystalickém stavu, jako křišťál. Krystalický – amorfní, o obou těchto stavech hmoty budete patrně slyšet častěji, budou pravděpodobně určovat velkokapacitní paměť budoucnosti.

Některé tuhé látky se dají více či méně ochotně převést z amorfního stavu do stavu krystalického a naopak; tato změna fází, které je většinou dosaženo působením tepla, našla široké uplatnění u optických paměťových médií. Zapisujeme-li například data na přepisovatelné DVD, mění speciální povrchová vrstva na DVD prostřednictvím tepelného šoku vyvolaného laserovým impulzem místně svou fázi z krystalické na amorfní, a tím mění své odrazové vlastnosti, takže lze zapsat čitelnou bitovou kombinaci. Delší a silnější působení laseru opět mění amorfní místa na krystalická, takže DVD lze znovu přepsat. Materiály měnící své fáze čeká nyní s velkou pravděpodobností další kariéra, a to v elektronických paměťových systémech založených na změně fáze, phase-change RAM (PRAM).

Ke změně fáze nedochází opticky, ale elektronicky. Krátké proudové impulzy mění materiál na amorfní s vysokým elektrickým odporem, delší impulzy jej opět mění na krystalický s malým odporem. Při čtení informace je zjišťován odpor paměťových prvků.

Pomocí phase-change RAM má být dosaženo hustot paměti, které umožňují uložit na ploše o velikosti dopisní známky jeden terabit – deset hodin nekomprimovaného videa, tedy v nejvyšší kvalitě. Notebooky s touto technikou by mohly jednoduše zase začít tam, kde jejich majitel přestal – restart počítače by již nebyl nutný.



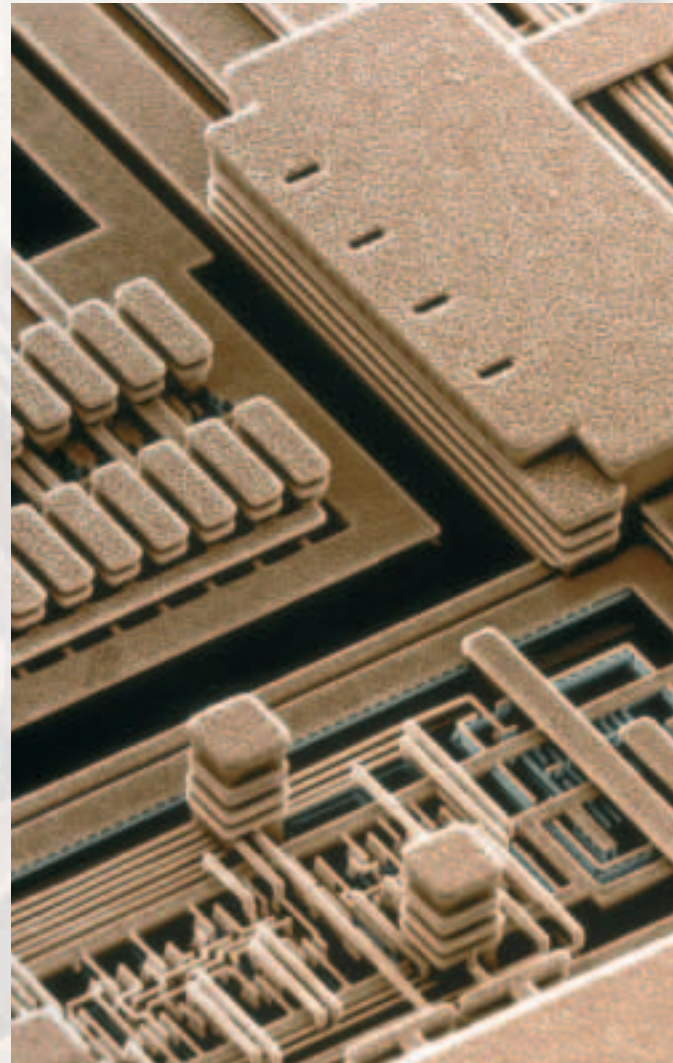
Vpravo: Pomocí proudových impulzů a s nimi spojených tepelných impulzů různé délky lze přeměňovat vrstvy měnící fáze na PC-vrstvě pro ukládání bitů mezi amorfní a krystalickou fází. Patentovaný design ústavu IHT při RWTH Aachen umožňuje rychlé paměti s malou spotřebou energie.

Vlevo: aktuální design paměti phase-change RAM.

Dále s 3D – čipy rostou do výšky

Mrakodrapy byly ekonomickým řešením na omezených pozemcích na Manhattanu, pokud šlo o to, vytvořit nové kancelářské a bytové prostory. Samozřejmě i designéři čipů pomýšleli již brzy na třetí rozměr, pokusy však ztroskotaly na celé řadě problémů.

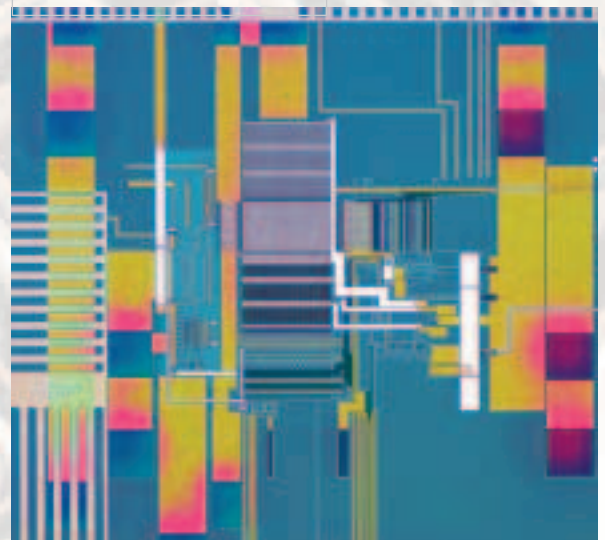
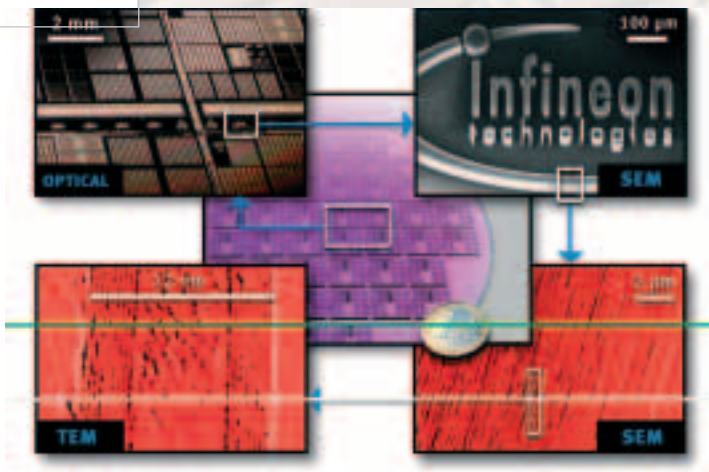
Cestu k třetímu rozměru se podařilo nalézt společnosti Infineon AG z Mnichova. Dnes se jim již opakovaně daří nechat plánovitě růst uhlíkové nanotrubicice (CNTs) na waferu – vyleštěném křemíkovém plátku, na němž vznikají počítačové čipy. Uhlíkové nanotrubicice jsou prvotřídními vodiči, produkují rovněž málo odpadního tepla a lze je použít také jako mechanicky zatížitelné spoje (VIAs), mezi různými rovinami zapojení na čipu. Z dlouhodobého hlediska považují výzkumní pracovníci firmy Infineon za možné dostat se pomocí CNT ke skutečné 3D technologii pro čipy, zejména když CNT jako vynikající tepelné vodiče mohou odvádět teplo zvnitřku 3D čipu.



10 μ m

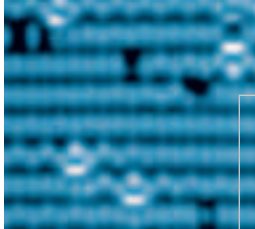
Cílený růst uhlíkových nanotrubiček na předem určených místech křemíkového plátku procesem kompatibilním s mikroelektronikou.

Experimentální struktury pro spintronickej paměti RAM

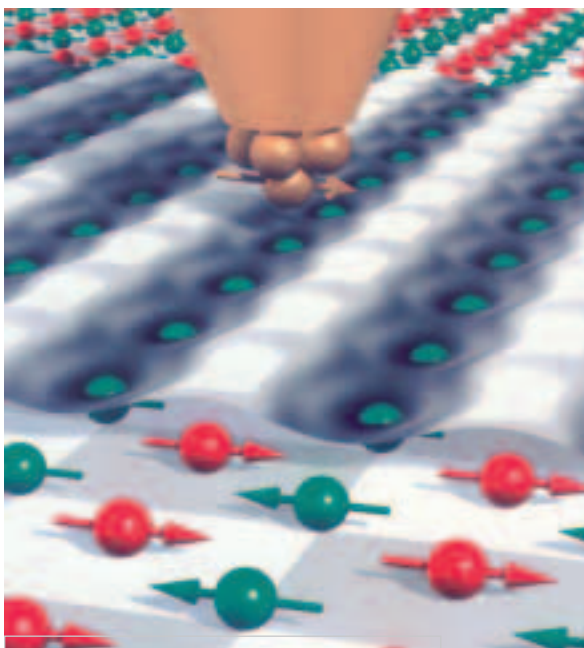




Složité jako miniatura města – leptané měděné spoje čipu (IBM), vyobrazeno pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu. Moderní čipy mají až devět úrovní zapojení.

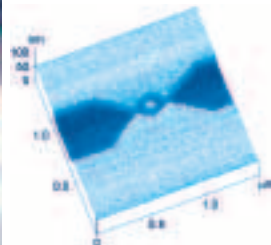


Jednotlivé organické molekuly na křemíku. Snímek z rastrovacího tunelového mikroskopu, Ruhrská univerzita v Bochumi.



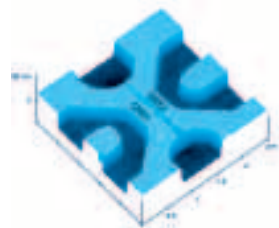
Magnetická sonda spinově polarizovaného rastrovacího tunelového mikroskopu zkoumá magnetické vlastnosti jednotlivých atomů.

Rozcvička prstů pro kvantový počítač: „Aharonovův-Bohmův interferometr“, vytvořeno na Ruhrské univerzitě v Bochumi rastrovacím silovým mikroskopem.



Tunelem propojené kvantové dráhy – elektrony procházejí průchody, které by v klasické teorii byly uzavřeny. Nanotechnologické experimenty začínají dohánět teorii.

V magnetických paměťových čipech MRAM jsou informace uloženy ve spinu magnetických vrstev. Vývoj je zajímavý pro energeticky nezávislou hlavní paměť a z dlouhodobého hlediska by mohl vést k nahrazení mechanických pevných disků.



O spintronice se hovoří rovněž jako o technologii pro kvantové počítače, například na Univerzitě ve Würzburgu.

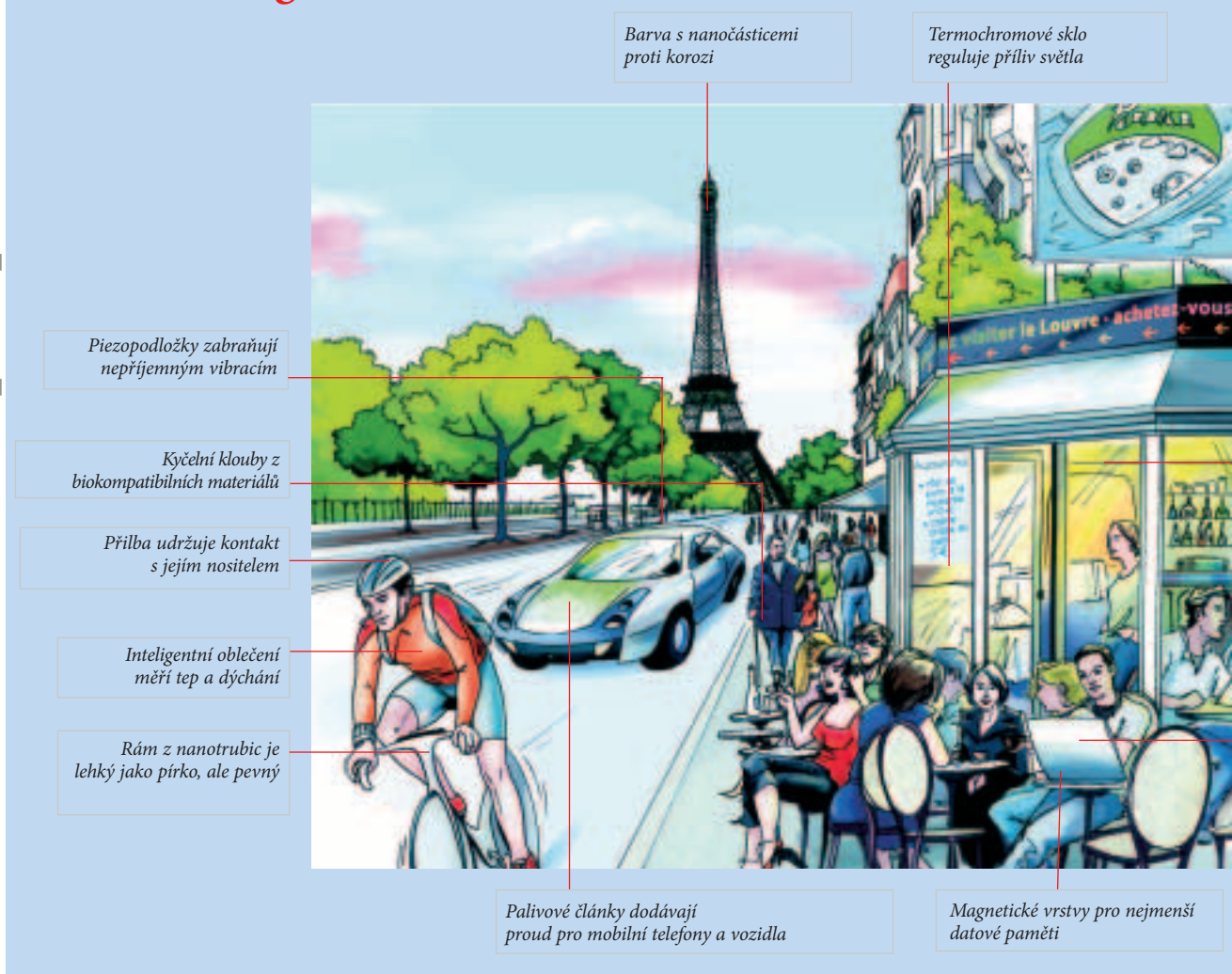
Nové efekty pro výkonné pevné disky: snímání hlava využívá obrovský magnetický odpor pomocí polovodičového prvku z více než dvaceti nanovrstev.

Spintronika – počítání s rotujícími elektrony

S kutečnou revolucí, která by mohla Moorův zákon posunout daleko do budoucnosti, by mohly spustit spintronické stavební prvky, které kromě elektrických vlastností elektronu využívají i jeho magnetické vlastnosti, jeho spin. Spin elektronu se projevuje jako nepatrný magnetický moment, který složitě interaguje s jinými magnetickými jevy, a tak jej lze využít pro elektronické funkce. Tato spintronika nebo magnetoelektronika se již uplatňuje v každodenním životě: nové pevné disky mají tenkovrstvé snímání hlavy se „spinovým ventilem“ (spin valve), které na základě obrovského magnetického odporu objevují velmi malé magnetické domény a takto umožňují velmi vysoké hustoty paměti.



Nanotechnologie v každodenním životě budoucnosti



Piezopodložky zabraňují nepříjemným vibracím

Kyčelní klouby z biokompatibilních materiálů

Přilba udržuje kontakt s jejím nositelem

Inteligentní oblečení měří tep a dýchání

Rám z nanotrubic je lehký jako pírko, ale pevný

Barva s nanočásticemi proti korozi

Termochromové sklo reguluje příliv světla

Palivové články dodávají proud pro mobilní telefony a vozidla

Magnetické vrstvy pro nejmenší datové paměti

Když nanotechnologie vstoupí do každodenního života, nemusí se navenek nic dramaticky změnit. Lidé si i nadále rádi posedí v pouliční kavárně, dokonce ještě raději než dnes. Rachocení spalovacích motorů bylo totiž nahrazeno nenápadným bzučením a syčením, které je slyšet, když se ve vesmírné lodi Enterprise zavírá přepážka. Zápach ze spalovaného paliva ustoupil občasnému, sotva patrnému kotoučku metanolu používaného k napájení palivových článků. Obsloužení budete velmi rychle: stisknutí požadovaného jídla na elektronickém jídelním lístku již mobilizovalo kuchyň. Platí se tak, že se na jídelní lístek v rohu s natištěným symbolem eura přiloží platební karta. Spropitné se ještě dává v hotovosti, protože to tak hezky cinká, ovšem je hygienicky povrchově ošetřeno antibakteriálními nanočásticemi. Okna kavárny jsou velmi drahá, jelikož mají tolik funkcí – což je v konečném výsledku opět zlevňuje: odpuzují špínu a jsou

odolná proti poškrábání, ztmavnou, když je příliš světla, přeměňují světlo na proud a podle požadavku svítí jako obrovský displej: je zábavné sledovat v kavárně nebo před ní spolu s jinými lidmi mistrovství světa.

Pomocí vyspělé nanoelektroniky je možné vytvořit přístroje okouzující elegance, jako skutečný osobní digitální asistent - PDA (Personal Digital Assistant) velikosti kreditní karty (ne, že by snad nemohl být menší, ale lidské ruce potřebují něco, s čím se dobře manipuluje).

Tento nástroj by mohl být matně černý, jednoduchý, bez rozpoznatelných struktur, černá barva akumuluje sluneční záření a přeměňuje je na proud; byl by odolný vůči poškrábání a potažený velmi tenkou diamantovou vrstvou, pod ní by měl tenkou piezokeramickou vrstvou, která přeměňuje zvuk na napětí a naopak, takže je možné dorozumívat se hlasem. Samozřejmě by ovládal rovněž přenos dat prostřednictvím světla a radiotelegrafie.



OLED pro displeje

Fotovoltaické fólie
přeměňují světlo na proud

Světelné diody konkurují
žárovkám

Látka opatřená povrchem
odolným proti skvrnám

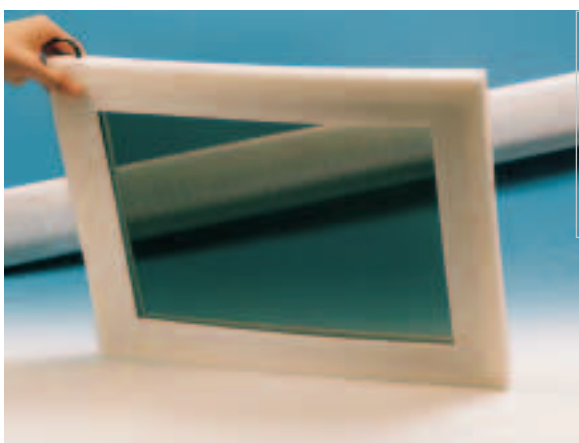
Jídelní lístek z
elektronického papíru

Nanotrubičky pro nové
displeje notebooků

Tabule opatřená povrchem
odolným proti poškrábání s
lotosovým efektem



Nanočástice v nanoroztociích
fluoreskují v UV světle, jinak jsou
ale naprosto neviditelné.
Jemně rozptýlené v kapalinách je
lze nanášet pomocí
technologie inkoustového
tryskového tisku, aniž by se změnil
vzhled nebo funkce
označeného předmětu.
Nanopigmenty proto lze velmi dobře
použít jako ochranu před paděláním.



„Fotochromové
sklo“: propustnost
takových skel lze
regulovat napětím
– pro klimatizaci
kanceláří zítřka.

Přístroj by mohl rovněž vidět pomocí plochého objektivu a čipu k převádění obrazů s vysokou rozlišovací schopností, podle přání by se rozsvítil jako displej a stal by se tak magnetofonem, kamerou, videorekordérem, televizí, mobilním telefonem a pomocí GPS - orientační pomůckou v jednom, na žádost by v pařížské kavárně přečetl, přeložil a vysvětlil jídelní lístek, zadal objednávku jídla v přátelské francouzštině a zaplatil by účet.

Samozřejmě by rozpoznával hlasy a otisky prstů těch, kdo jej mají obsluhovat, a tak by byl chráněn před zneužitím.



Virtuální klávesnice:
systém rozpozná dotyk
promítnuté klávesy
a vyhodnotí je
jako stisknutí klávesy.

Stejně jako u jiných strojů, nahradí i u automobilů nanotechnologie kvantitu kvalitou. Výhodou technologie je nižší spotřeba materiálu a její soulad s přírodou. Nanotechnologie v automobilu.

Malé struktury pro, větší obrázky. Pomocí pravidelných mikroskopických struktur se předejde rušivým světelným odrazům na displejích a sklech automobilů. Jako vzor v přírodě slouží oči mola. Ten chce v noci vidět co nejvíce a přitom sám nebyť viděn.

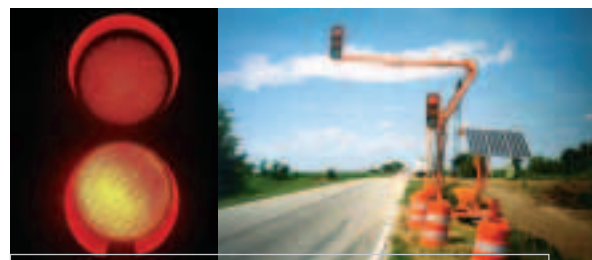
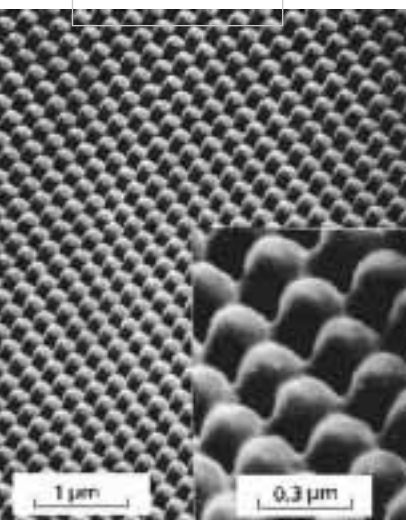
Nanotehnologija automobilu

Přední skla mohou být pomocí povlaků vyrobených sol-gelovou technikou, které obsahují tvrdé nanočástice, vyrobená tak, aby byla odolná vůči poškrábání.

A to při zachování úplné průhlednosti, jelikož nanočástice jsou tak malé, že nerozptylují světlo. Princip funguje už u brýlových skel, i když ještě ne zcela dokonale. Autolak by mohl být opatřen strukturou s lotosovým efektem, která by umožnila, aby se každá špína smyla.

Při klimatizaci auta by mohly pomoci přední skla s nanokomponenty, které ve větším či menším rozsahu odrážejí světlo a tepelné záření, a to regulací napětí. Takováto technika by v případě použití v kancelářských prostorách pomohla ušetřit hodně energie.

Světlo, které auto potřebuje, je dnes již z velké části vyráběno nanotechnologicky: světelné diody kvalitních brzdových světel například mají (jako všechny LED) důmyslné, nanometry měřící systémy vrstev, které velmi účinně přeměňují elektrický proud na světlo. Další plus: LED mění proud na světlo viditelné pro člověka prakticky okamžitě, brzdová světla se žárovkami potřebují více času. Rozdíl může činit několik metrů brzdné dráhy. Svítivost LED je již tak vysoká, že jejich seskupení mohou poskytovat denní tlumené světlo předních světlometů.



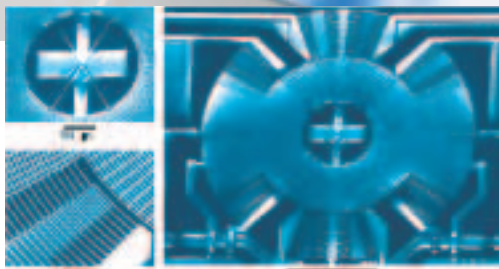
LED v semaforech šetří dobu provozu a energii. Doba amortizace je pouze jeden rok.



Dnešní elektronické bezpečnostní systémy jako ABS nebo ESP zasahují v kritických jízdních situacích, budoucí systémy se budou nebezpečím automaticky vyhýbat.



Vstříkovací tryska pro vozidla se vznětovým motorem. Budoucí systémy budou mít diamantové vrstvy chránící proti opotřebení, které budou silné pouze několik desítek nanometrů.



Váhy z křemíku: snímač rychlosti otáčení pro stabilizaci vozidla.



Bílé LED jsou nyní již tak svítivé, že budou moci být v budoucnu použity v předních světlo-metech.

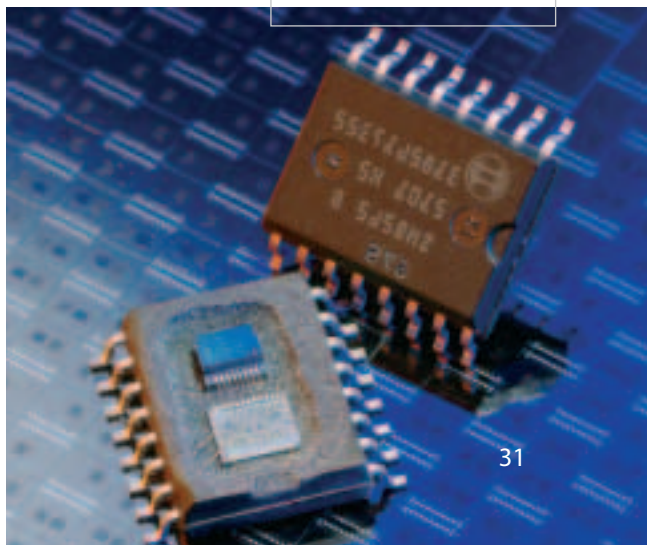
Lak by mohl být dokonce nanotechnologicky navržen jako solární článek (možnost, která nebyla dosud nerealizována). Elektrický proud z článku by na parkovišti dobil baterie (pomocí tradičních solárních článků to je již možné) nebo by udržoval vnitřní prostor chladný pomocí tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo by se zase mohlo skládat z polovodičového nanotechnologického systému vrstev bez pohyblivých částí. Když je naopak značné odpadní teplo ze spalovacího motoru takovým polovodičem odváděno, vzniká opět proud – viz také „termoelektrina“ v kapitole „Energie a životní prostředí“.



Palivové články (viz s. 33) umožní automobilům jízdu bez škodlivin. Pochází-li navíc vodíkové palivo z obnovitelných zdrojů energie, je tento druh pohonu velmi ekologický.

Vpravo: Elektronika pro bezpečnost cestujících: snímač zrychlení pro čelní airbag.



Nanotechnologie pro společnost

Doprava

*Nanokapsle s vůní
propíjčují kůži
nový nádech.*

Katalyzátory ze zlata

Nanotechnologie může pomoci rovněž zlatu k nové kariéře. Zatímco „hrubé“ zlato jako katalyzátor daleko zaostává za platinou, zlaté nanočástice na porézním nosném materiálu vytvářejí použitelný katalyzátor, který již při studeném startu rozkládá oxidy dusíku a oxid uhelnatý na neškodné látky. Zlaté nanočástice jsou rovněž nadějným novým kandidátem na katalyzátory pro palivové články.

Tento nový pokrok prospěje samozřejmě také dopravní technice, která nemá nic do činění s automobilem. Například jízdní kolo by se docela dobře snaželo s nanotechnologií, především s palivovými a solárními články, pro „věčné vozítko“, které se nehlučně pohybuje po krajině pouze pomocí světla, vzduchu a vody a je lehké jako pírko, a to vše pomocí rámu z uhlíkových nanovláken, světelných diod atd.

*Pisoár v motorestu
s mikrosystémovou
technikou
odolnou vůči
vandalům.
Nanovrstvy s
„lotosovým efektem“
mají dále
zjednodušit údržbu.*

*Nanočástice ze zlata pro nové
katalyzátory.*

Zlato proti pachům

Katalyzátory se zlatými nanočásticemi se nyní testují rovněž jako odstraňovače zápachu. V malých klimatizačních systémech jako například v automobilu lze s jejich pomocí odstranit nepříjemný zápach produkovaný bakteriemi usazenými v chladicím systému. V Japonsku již dokonce slouží na toaletách.

Nanotechnologie v motorestu

Řidiči se v motorestech mohou setkat alespoň s mikrosystémovou technikou.

Pisoáry moderních toalet jsou vybaveny čidly, které připojené elektronice hlásí každý nárůst teploty, načež dojde ke spláchnutí. Elektrická energie, která je k tomu zapotřebí, je dodávána z malé vodní turbíny, která je uváděna do provozu při spláchnutí.

Na rozdíl od zařízení s infračervenými čidly nemůže být systém vyřazen z provozu například kouskem žvýkačky. Nanotechnologické toaletní mísy naproti tomu fungují jednodušeji a současně důmyslněji: díky lotosovému efektu na stěnách nádoby odtéká kapalina v podobě kapiček, prosakuje vrstvou kapaliny zadržující pachy a mizí, aniž by za sebou zanechala stopy – nakolik to odpovídá pravdě, to musí ukázat praxe. Tato technika se samozřejmě může uplatnit i v soukromých domácnostech.



Kovové „nanokostky“ společnosti BASF mohou díky své nanopropovodnosti uchovávat velká množství vodíku.

Palivový článek – zařízení pro tisíce použití

Palivové články se podobají bateriím: dodávají elektrický proud. Zatímco se ale chemický inventář baterie časem vypotřebuje, v případě palivového článku je trvale dodávána energeticky bohatá látka.

Touto látkou může být čistý vodík nebo plyn nebo kapalina, která obsahuje vodík, například zemní plyn nebo řepkový olej.

V obou posledně uvedených případech musí být vodík nejprve separován v reformátoru, a teprve poté může být použit v palivovém článku.

Když se vodík a kyslík spojí, putují elektrony z vodíku do kyslíku. V palivovém článku jsou tyto elektrony tlačeny do vnějšího proudového obvodu, který může pohánět motor a podobně. Jako reakční produkt vzniká čistá voda.

Palivové články mají dobrou účinnost, která – podle typu – může být i vysoce nezávislá na velikosti.

Vyrábějí se v mnoha různých variantách.

Nanotechnologie může přispět k této technice keramickými fóliemi, nanostrukturovanými povrchy a nanočásticemi působícími jako katalyzátor.

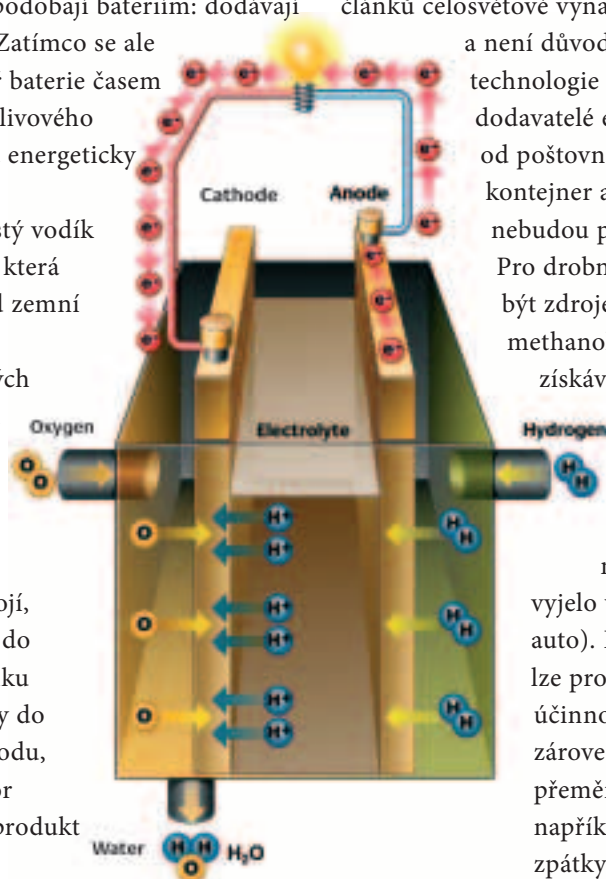
V posledních letech bylo na technologii palivových

článců celosvětově vynaloženo 6–8 miliard dolarů a není důvod pochybovat o tom, že z této technologie něco bude. Tito nehlukní dodavatelé elektřiny budou mít velikost od poštovní známky po dopravní kontejner a v žádném případě se nebudou používat pouze v autech. Pro drobné spotřebitele by mohla být zdrojem vodíku nehořlavá směs methanolu a vody, která by se získávala v supermarketu.

Palivový článek pomůže elektrickému motoru jako nejlepšímu ze všech dobýt opět místo

na stupních vítězů (1881 vyjelo v Paříži první elektrické auto). Pouze elektrický motor lze provozovat s více než 90% účinností, jen on může fungovat zároveň jako generátor a přeměňovat kinetickou energii, například při brzdění auta, zpátky na elektrickou

energii. Extrémně dobré magnetické materiály nových elektrických motorů a generátorů jsou samozřejmě rovněž nanokrytalické.



Palivové články se nastěhují rovněž do domácnosti a budou dodávat současně elektřinu i teplo.





**Snídaně s důsledky v roce 2020:
Existuje ještě káva? Snad ano, a pomerančová šťáva?
Samozřejmě, ale na obalu by mohlo být něco zvláštního, například
„elektronický jazyk“ uvnitř, který ochutnává šťávu, aby zjistil, zda
není případně zkažená.**

Nebo čidlo na vnější straně, které z potu prstů držících obal zjišťuje nedostatek vápníku nebo jiných látek, který by bylo možno odstranit konzumací „funkčních potravin“. OLED štítek na obalu doporučí ten správně uzralý, tradiční kozí sýr.

Zrcadlo v koupelně je napěchováno nanoelektronikou, nejenže odráží, ale na žádost i informuje a má určité výhrady k pomerančové šťávě. Protože pomerančová šťáva obsahuje cukr a cukr napomáhá vzniku zubního kazu. Opět je zapotřebí nanotechnologie: v zubní pastě (již je k dispozici) jsou obsaženy nanokuličky z apatitu a proteinu, přírodního zubního materiálu, které opět pomohou obnovit normální stav zubu (viz také biomineralizace).

*Obrázek vlevo nahoře:
fólie s nanočásticemi
udržují potraviny
déle čerstvé.*

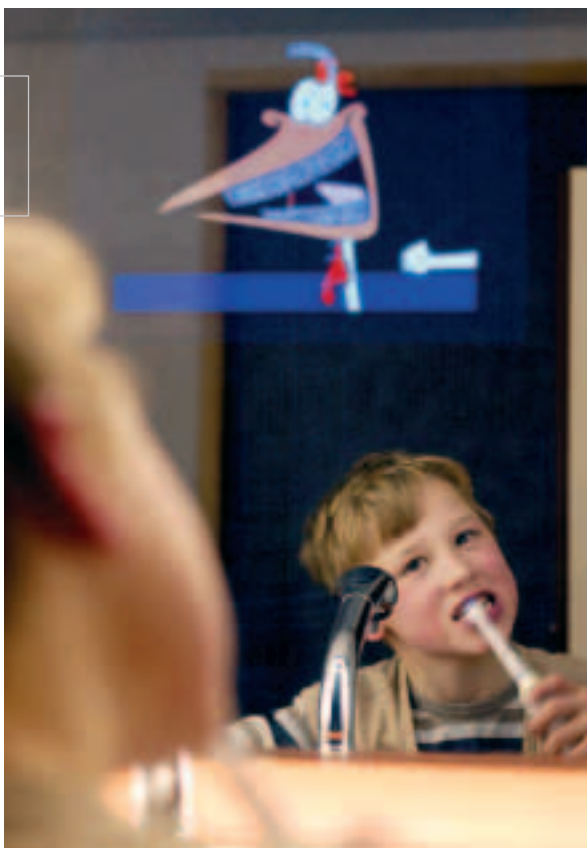
*Obrázek vpravo nahoře:
Inteligentní obal s
vloženým čipem
na bázi polymeru.*

Denní krémy (již existují) obsahují nanokuličky oxidu zinečnatého proti škodlivému UV záření. Kuličky jsou neviditelné, jelikož jsou to nanočástice, krém tedy není bílý, ale naprosto průhledný.

Špióni na konečku prstu

Díky nanotechnologii, nanoelektronice, mikrosystémové technice apod. bude možné vyrábět složité analytické přístroje, které budou finančně dostupné i pro soukromé domácnosti. Pro rozbor krve bude v budoucnu stačit maličký vpich do prstu. Je hodnota cholesterolu v pořádku? Je hladina cukru v normálu? Výsledky by se mohly zaslat přes internet do nejbližšího nanomedicínského centra, kde by bylo možno vyžádat si přesnější rozbor a zcela individuální léčbu s použitím mikroreaktoru pro přípravu léku. Lék v těle opět dopravují nanočástice, jejichž povrch je ošetřen tak, že se zachytí pouze v místě původu nemoci. „Cílené doručování léčiv“, precizní do nejmenšího detailu. Lékaři sledují s velkým zájmem tento vývoj.

*Inteligentní prostředí
– nanoelektronikou
vybavené zrcadlo
vyučuje čištění zubů.*





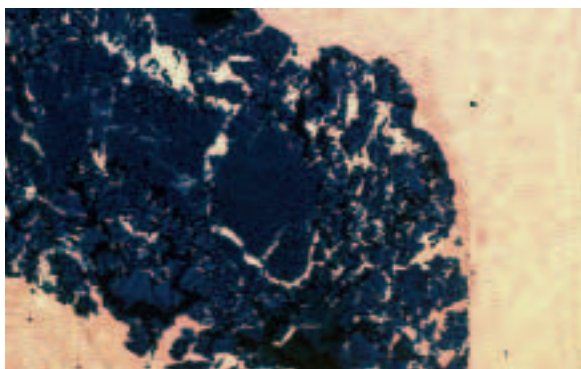
Supramolekulární kapsle s léky

Podávané léky by mohly být mimořádně důmyslné. Budou ukryty v supramolekulárních dutých molekulách (ve stadiu vývoje), přepravních nanonádobách, které mají antény, na nichž jsou připevněny snímací proteiny podobné protilátkám. Když přijdou do styku se strukturami, které jsou typické pro činitele vyvolávající nemoc (např. vnější povrch rakovinných buněk nebo bakterií), zakotví zde a vyšlou signál duté molekule, která se poté otevře a uvolní svůj obsah. Pomocí této nanotechnologie lze podávat léky ve velkých dávkách přímo na místo nemoci, aniž by se zatěžoval zbytek organismu.

Magnetické částice pro léčbu rakoviny

Obdobnými triky lze i magnetické nanočástice navádět na rakovinná ložiska, která se poté ohřívají střídavým elektromagnetickým polem a mohou nádor zničit. Nanočástice rovněž procházejí filtračním systémem tzv. hemoencefalickou bariérou a lze je navádět také na mozkové nádory.

Tato tzv. magnetická fluidní hypotermie byla vyvinuta pracovní skupinou pod vedením biologa Andrease Jordana. V současné době začínají klinické testy.



Diagnostika zítřka. Stále nákladnější metody zůstanou pomocí nanotechnologie cenově dostupné.

Rakovinné buňky mozku - glioblastomu se „prokousaly“ až těsně na okraj zdravé tkáně se speciálně povrchově ošetřenými magnetitovými nanočásticemi. Když poté elektromagnetické pole částice zahřeje, stane se nádor citlivým pro další léčbu. K lékařskému schválení techniky má dojít již v roce 2005.

Skříně na čipu

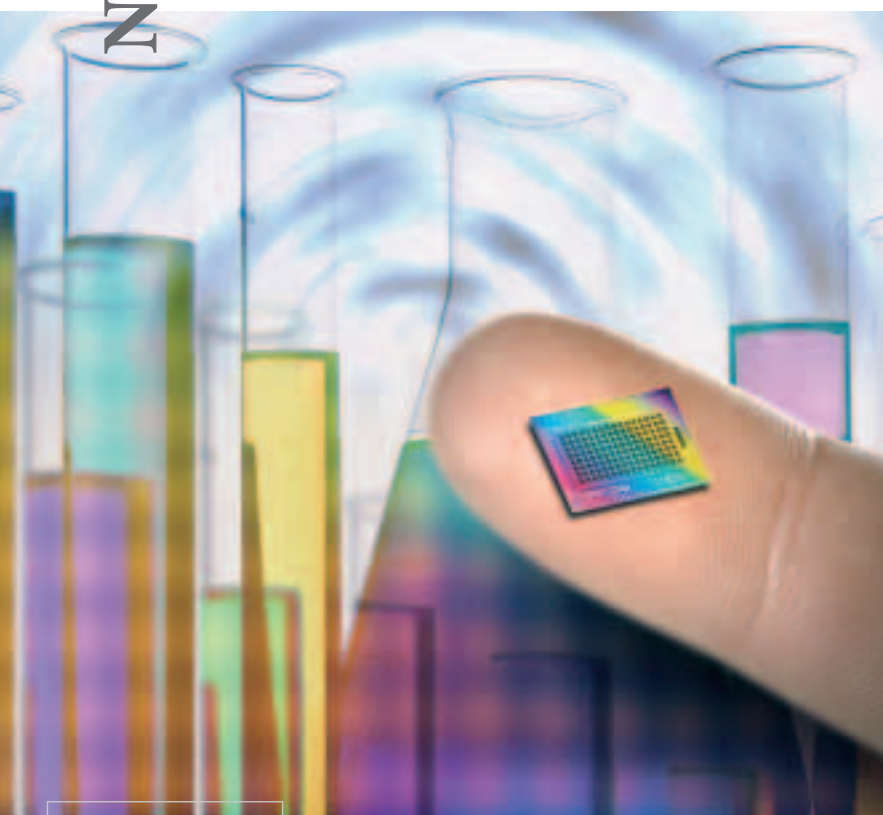
Mikrosystémová technika a nanotechnologie – hranice mezi nimi jsou velmi plynulé – se v samotném zdravotnictví vyplatí minimálně tím, že miniaturizují a zlevňují existující techniky, někdy o stotisícinásobky a více. To může platit mimo jiné pro důmyslné přístroje, které vyšetří miliony buněk, například krvinek, po tisících za sekundu s ohledem na určité příznaky a mohou je roztrždit živé.

Zdraví

Z výchozích nanoprášek lze spékáním (slinováním) získat bezvadná, spolehlivá keramická tělíska, například pro implantáty.

To lze provést takto: do krve se přidají protilátky, které se zachytí na buňkách, o něž se zajímáme (a jen na nich), a zároveň ponosou barvivo, které se rozzáří, fluoreskuje, ve světle laseru. V třídiči buněk pak budou buňky uzavřené v kapičkách procházet kolem takového laseru;

když zasvítí fluorescenční signál, nasměrují elektrická pole kapičku, a tím buňku, do sběrné nádoby – tato technika částečně napodobuje techniku inkoustových tryskových tiskáren.



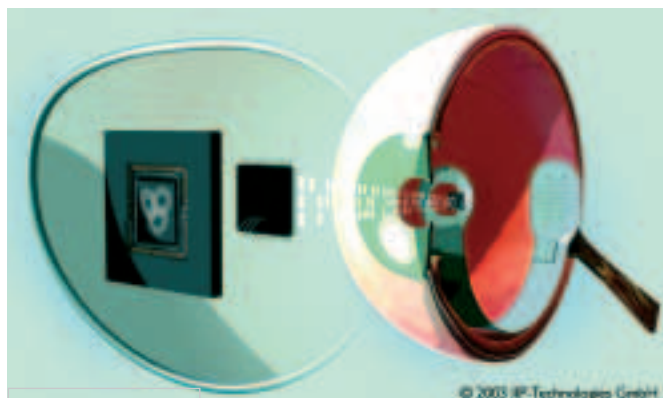
Malý, ale důmyslný, „lab on a chip“; laboratoř na špičce prstu.

Třídiče buněk jsou velmi náročné přístroje, v nichž se využívá nejdůmyslnější mikromechanika, optika a elektronika, přístroje jsou podle toho drahé. Nanotechnologie zmenší třídiče buněk, které jsou dneska velké jako skříň, na velikost poštovní známky a možná z nich částečně učiní výrobky na jedno použití. To významně urychlí lékařský pokrok.

Ještě náročnější nanotechnologie se plánuje pro laboratoř na čipu. V ní se podle vedoucích vývojových pracovníků budou prohánět miliony nanopřístrojů, které budou koordinovaně spolupracovat při plnění



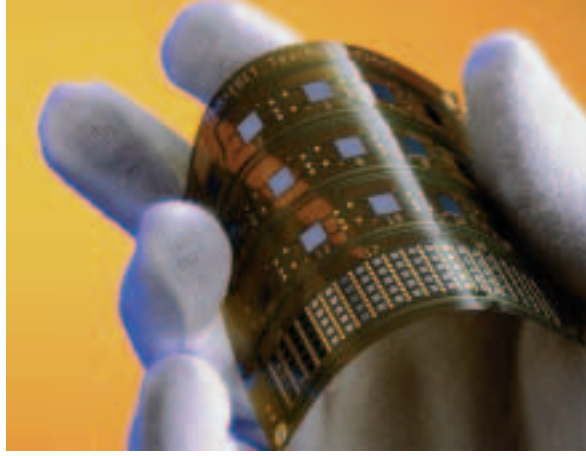
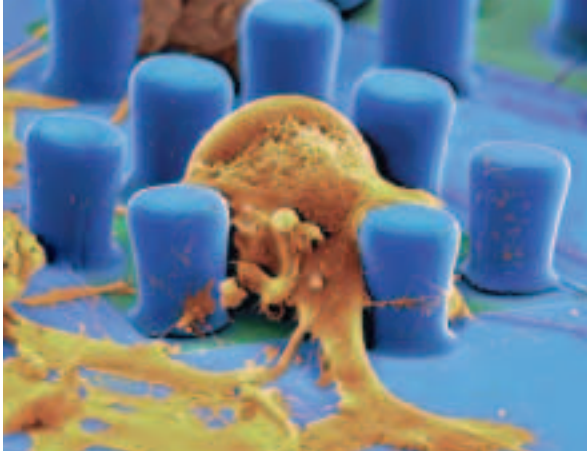
svého úkolu. Čipy by byly velké centimetr čtvereční, tedy obrovské v porovnání s nanopřístroji, které jsou na nich uloženy. Velikost je dána tím, že v nich musí obíhat kapaliny, které se stanou v nanoprostoru vazké jako med, a potřebují tedy místo k proudění. Laboratoře na čipu budou znamenat revoluci v biologii, v budoucnu bude možno pomocí nanolaboratoře sledovat krok za krokem na jednotlivých buňkách, co se právě děje. Nakonec bude možno vyrobit určitý druh videa, video života. Člověk se nespokojí s pozorováním buněk, bude je poštuchovat, pozorovat, jak reagují, a tak odhalí záhady života.



Sítnicový implantát.

Neuroprotetika

V současnosti vstupuje do fáze zkoušek velmi náročná aplikace mikrosystémové techniky a nanotechnologie, adaptivní sítnicový implantát. Má částečně vrátit zrak pacientům postiženým onemocněním retinitis pigmentosa (postupný rozpad oční sítnice).



Obrázek vpravo:
Tenké křemíkové čipy
na pružném nosiči
například pro inteli-
gentní štítky, které lze
zabudovat do obalů
potravin nebo do
oděvů.

Obrázek vlevo:
Připojení nervových
buněk na elektrické
kontakty.

Systém se skládá z malé kamery v obrubě brýlí, která přenáší obrazy okolí na speciální adaptivní signálový procesor. Tento procesor bezdrátově přenáší obrazová data do nemocného oka. Tam se nachází pružná fólie s miniaturními elektrodami, které přiléhají na sítnici a odpovídajícím způsobem ji stimulují. Bude-li vývoj úspěšný, bude se jednat o celosvětově první rozhraní MMI („man-machine-interface“) pro zrak. Mnoha neslyšícím pomáhají již delší dobu kochleární implantáty. S nanotechnologií se budou protézy tohoto druhu stále zlepšovat.

Domácí péče

Lepší výživa a stále dokonalejší medicína umožní stále více lidem, aby se dožívali stále vyššího věku. Tento vlastně velmi žádoucí vývoj má svou přirozenou nevýhodu v tom, že stále více lidí bude odkázáno na pomoc. Tu bude moci poskytovat částečně nanoelektronika, uvažuje

se například o čidlech a počítačích vetkaných v oděvech, které umožní trvale sledovat zdravotní stav – tep, dech, metabolismus – starších osob. Pokud se objeví problémy, informuje takováto „zdravotní vesta“ ošetřujícího lékaře nebo příbuzné. Místo pobytu hlásí zabudovaný GPS modul nebo modul systému Galileo (Galileo je budoucí evropská varianta GPS).

Automatický ošetřovatel

Stará Evropa má ke strojovým pomocníkům – zatím – spíše rezervovaný postoj, v Japonsku již nezávisle se pohybující roboti čekají na průmyslovou hromadnou výrobu. Je dost dobře možné, že se z nich podaří vyvinout ošetřovatele vhodné pro každodenní použití, v každém případě se na tom pracuje. Robotika bude moci bez problémů a ve velkém měřítku zvládnout stále rostoucí výpočetní výkon nanoelektroniky.



Roboti se schopností
vcítění z Univerzity
v Oxfordu. K hlídání
kachen to už stačí, od
automatického ošetřo-
vatele se očekává víc.



Intelligentní oblečení:
zabudovaná elektronika
přehrává MP3, vede
městem a sleduje tep
na kůži – to vše máme
na dosah.



Revoluce v účinnosti prostřednictvím LED.

Na rozdíl od dosavadní historie techniky může nanotechnologie spojit hospodářský růst s menší spotřebou materiálu.

Hospodaření à la nano: více pohodlí s menšími materiálovými náklady.

Evropě se přibližně 10 procent vyrobené elektrické energie spotřebuje na osvětlení. LED, světelné diody, již nyní svítí také bíle, mohou tedy nahradit tradiční techniku. Toto nahrazení by přineslo značné úspory, jelikož LED spotřebují pro stejné množství světla jen přibližně 50 procent energie, kterou potřebují obyčejně

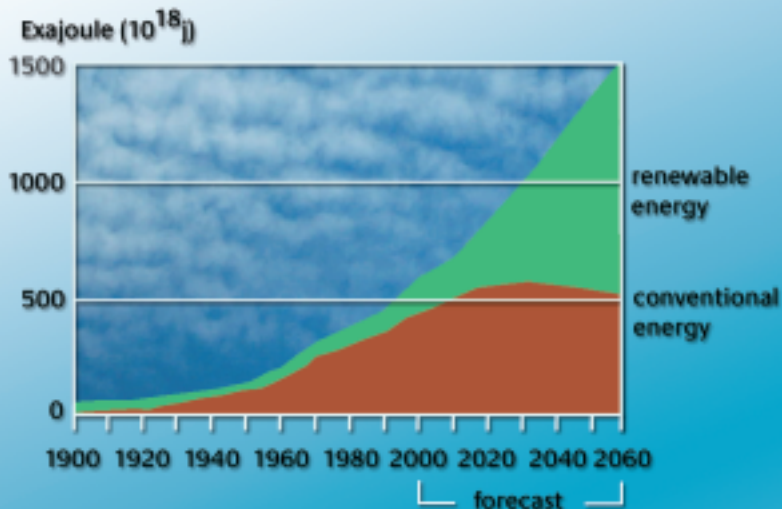
žárovky. Německý Spolkový úřad pro životní prostředí zjistil v sektoru osvětlení potenciál k úsporám ve výši 77 procent.

V evropských domácnostech čekají miliony televizorů s klasickou lampovou obrazovkou na nahrazení přístroji s LCD technikou, popř. z dlouhodobějšího hlediska i OLED technikou. Obě techniky mohou snížit spotřebu elektrické energie o 90 procent. LED a OLED se vyrábějí pomocí nanotechnologie. Když miliony domácností ušetří kilowatty, výsledkem budou gigawatty – což je kapacita několika velkých elektráren.

Výkon palivových článků lze rychle regulovat. V současnosti do domácností pronikají první topení na zemní plyn s palivovými články, které vyrábějí volitelně teplo i elektrickou energii. Pokud jimi budou vybaveny miliony domácností, bude možno tyto ohřívače připojit přes rozvodnou síť a internet k virtuálním velkým elektrárnám s teoretickou maximální kapacitou 100 gigawattů.

Prognóza firmy Shell AG. Pro obnovitelné zdroje je nanotechnologie upřednostňovaným prostředkem.

World energy consumption





V dlouhodobém výhledu by mohl být zemní plyn nahrazen vodíkem z obnovitelných zdrojů. Nanotechnologie má pro tento případ připraveny nové materiály a katalyzátory.

Keramické membrány s nanopórovitostí se stávají stále důležitějšími pro úpravu kapalin, rovněž pro dodávku čisté pitné vody. Viry a bakterie se pomocí takovýchto membrán jednoduše odfiltrují.

Nanotechnologie učiní ze sluneční energie lukrativní záležitost. Spojovací polovodiče z india, galia a dusíku vykazují parametry, z nichž vyplývá, že by se mohly objevit solární články s účinností více než 50 procent. Účinnost je však jen jedním kritériem, nanotechnologie se postará rovněž o výrazné zlevnění světelných kolektorů, a to buď pomocí techniky tenkých vrstev nebo částic. Laboratorní vzorky fólií obsahujících solární články, které byly vyrobeny pomocí technik povrstvování, jež se podobají technikám používaným pro LED a OLED, nabízejí elektrický výkon 100 wattů při hmotnosti materiálu 30 gramů – což je radikální omezení spotřeby materiálu při získávání energie, kterého dosáhla společnost Solarion v Lipsku.

Výzkumní pracovníci firmy Siemens uvádějí pětiprocentní účinnost u nejnovějších organických solárních článků, které bude možno natisknout na plastickou fólii a které mají být vysloveně levné.

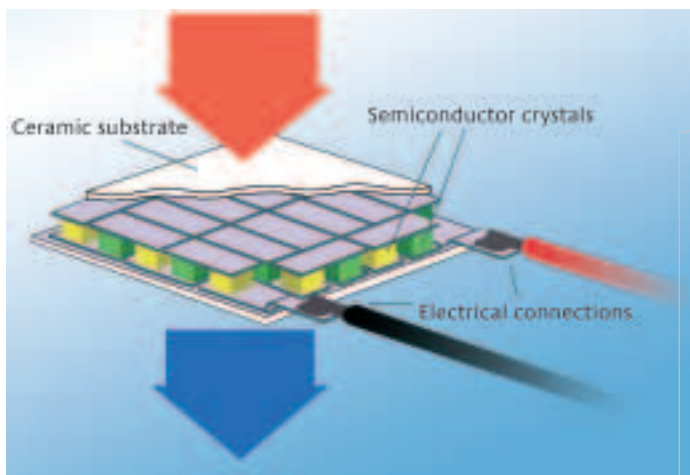
Fotoaktivní vrstva má tloušťku pouze kolem 100 nanometrů a životnost, jíž je v současnosti dosahováno, činí několik tisíc hodin slunečního svitu. První produkty s touto technikou se očekávají v roce 2005.

Široké spektrum: skleněná fasáda haly hotelu Weggis u Lucernského jezera, osvětlená 84 000 LED firmy Osram ve všech barvách duhy.

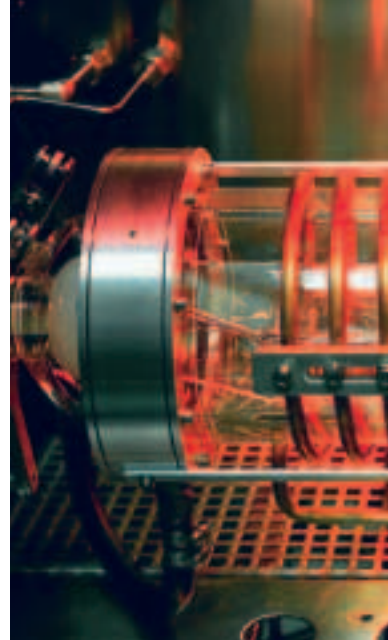
OLED, organické LED, se budou používat v mnoha budoucích displejích.



Energie a životní prostředí



Konvenční termoelektrický modul: tepelný tok je polovodičovými bloky přeměňován na elektrický proud. Nanostruktury pomáhají technice k vysoké účinnosti a otevírají tak nové trhy.



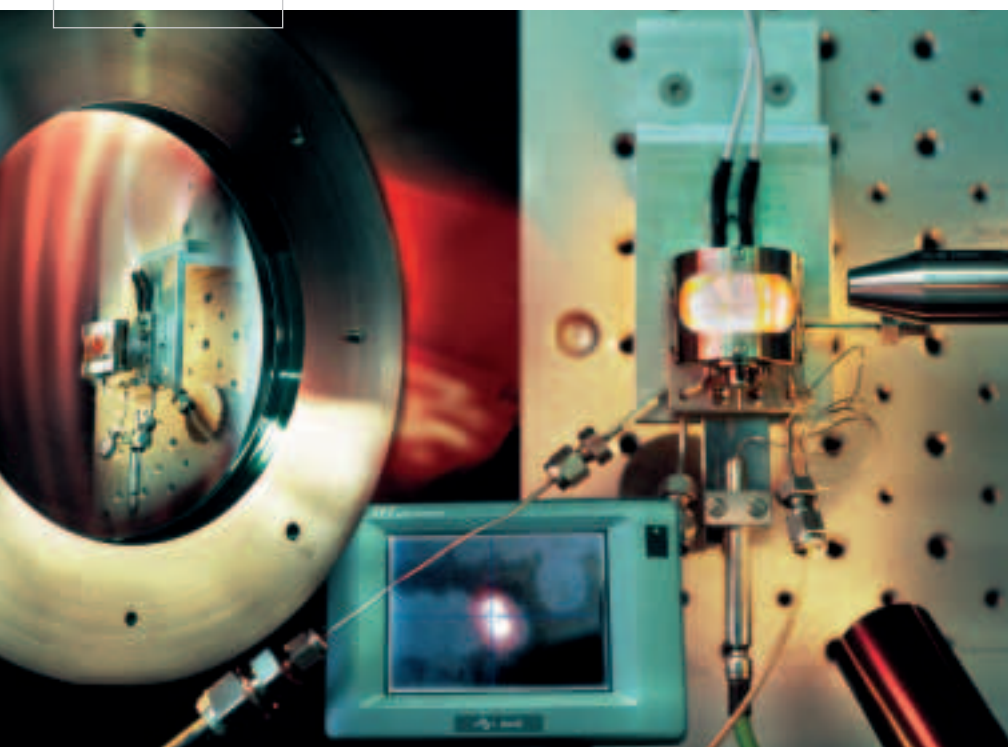
Nanotechnologie vdechuje nový život mnoha starým myšlenkám, které ztroskotaly na neúčinnosti dostupných materiálů. K nim patří myšlenka termoelektrické výroby elektřiny: elektřina z tepla, teplo z elektřiny – termoelektřina

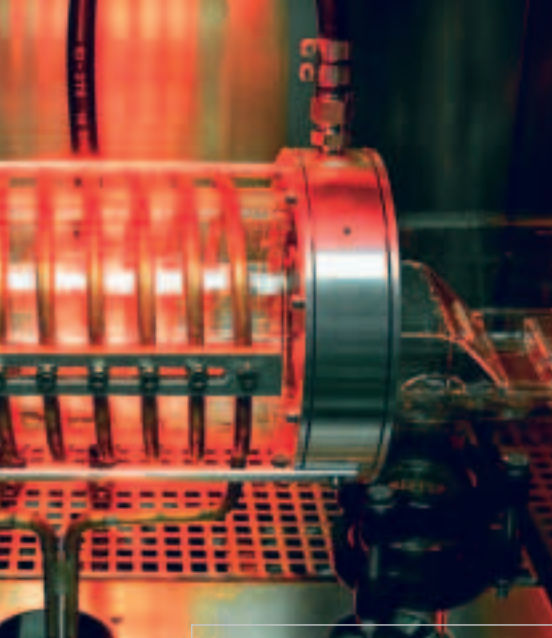
Existuje celá řada dlouho známých, úctyhodných fyzikálních jevů, které veřejnost sotva zaznamenala a které v tržních nikách dosahují spíše skromného výkonu. Například chladičí taška, která se připojí na palubní síť vozidla a pak skutečně chladí. Uvnitř působí neviditelný odkaz Jeana Charlese Athanase Peltiera,

francouzského vědce, který v roce 1834 objevil jev, který dnes nese jeho jméno a podle něhož průtok proudu v místě spojení dvou různých kovů produkuje na jedné straně teplo a na druhé chlad. O třináct let dříve objevil Němec Thomas Johann Seebeck opačný jev, podle něhož při toku tepla v místě spojení dvou různých kovů vzniká

elektrický proud. Oba pánové se díky nanotechnologii stanou opět slavnými, neboť nyní vznikají nové materiály, které umožňují, že oba jevy – konečně – fungují s velmi dobrou účinností. Na výrobě těchto materiálů se opět podílejí stroje podobné strojům na výrobu LED. Tyto stroje například nanášejí na vrstvu telluridu bismutitého o tloušťce jednoho nanometru vrstvu telluridu antimonitého o tloušťce pěti nanometrů a tento proces opakují, dokud nevznikne polovodičová fólie, která by ohromila a nadchla pány Peltiera a Seebecka: při průtoku proudu je jedna strana souvrství teplá a druhá studená.

Chemická mikroreakční technika pro účinnou výrobu i exotických látek.





Reaktory firmy Aixtron pro výzkum (vlevo) a pro atomově přesné zhotovení tenkých vrstev spojovacích polovodičů (vpravo).



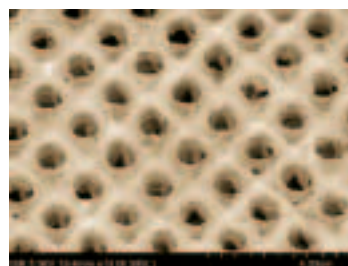
Fólii lze velmi jemně strukturovat, takže ji lze použít k velmi přesnému chlazení čipů nebo v laboratoři na čipu k obsluhování malých reakčních nádob, v nichž se rychlou změnou teploty reprodukuje DNA. Je možné, že se Peltierovy prvky díky dramaticky se zvyšujícímu stupni účinnosti stanou upřednostňovaným prostředkem pro celý chladírenský průmysl. Kdo má naopak k dispozici levné zdroje tepla, například geotermické teplo, může pomoci takovýchto termoelektrických vrstev levně vyrábět elektrický proud. Island by díky elektrolyticky vyráběnému vodíku mohl z energie slušně zbohatnout. V chemickém průmyslu budou moci takovéto techniky přeměnit obrovská množství odpadního tepla na elektrickou energii – nehlukně, téměř neviditelně, účinně. Samozřejmě pomocí nanotechnologie.

Termofotovoltaika

Termoelektrina není jedinou možností, jak elegantně přeměnit odpadní teplo na elektrickou energii. Například termofotovoltaika využívá (neviditelné) tepelné – infračervené – záření horkých objektů. Nanotechnologie spočívá ve struktuře emitörů, které přizpůsobují spektrum zdroje tepla spektrální citlivosti termofotovoltaických článků.



Světlo svíčky postačí termofotovoltaickým článkům k napájení rádia.



Wolframový emitör s nanostrukturovanou plochou pro přizpůsobení infračerveného spektra.

Neustálé zlepšování technologie, nyní také v nanoměřítku, umožňuje opět oživit staré nápady, které dříve ztroskotaly. K nim patří i myšlenka létání pomocí slunečního světla.

Icaré II, solární kluzák, který lze zatížit jako běžný kluzák a který může vzlétnout vlastní silou.

Nahoře: Na konci neoficiálního rekordního letu ze Stuttgartu do Jeny.

V červnu 1979 se Bryan Allen se strojem *Gossamer Albatross* dostal čistě pomocí síly pedálů vzduchem přes Lamanšský průliv a získal Kremerovu cenu dotovanou částkou 100 000 liber. Nové materiály umožnily Paulu MacCreadymu vyrobit konstrukci stroje *Gossamer Albatross* lehkou jako pírko. V roce 1981 se poštěstilo uskutečnit také dlouhý let pouze pomocí solární síly, i když *Solar Challenger* byl mimořádně křehký.

Počátkem devadesátých let uspořádalo město Ulm na památku nešťastného průkopníka létání Albrechta Ludwiga Berblingera („krejčího z Ulmu“) soutěž týkající se vývoje solárního letounu vhodného pro praxi. V červenci 1996 se jako jasný vítěz objevil motorový kluzák *Icaré II* ze Stuttgartské univerzity. Jako náhradu za družici sestrojila NASA solární

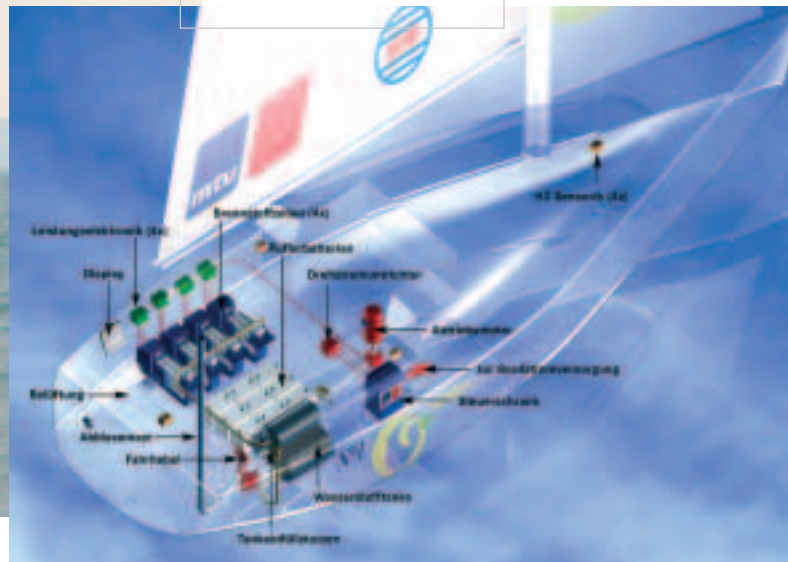
experimentální letoun HELIOS, který je ve vzduchu udržován během dne solární energií a v noci pomocí „dobijitelné“ soustavy palivových článků. Dosažená výška: téměř 30 kilometrů.

V roce 2003 se ve Švýcarsku sešli odborníci na termodynamiku, aerodynamiku, elektrické systémy, kompozitní materiály, fotovoltaiku, přeměnu energie a počítačové simulace – nanotechnologie se objevuje téměř ve všech těchto oborech – a jednali o projektu, který má opatřit nové technologie křídly pro budoucnost slučitelnou se životním prostředím. Ambiciózní projekt má kolem roku 2009 přenést Bertranda Piccarda a Briana Jonese, kteří v roce 1999 obletěli svět v balónu, ještě jednou kolem Země. Tentokrát v letadle, které bude poháněno pouze sluneční energií, a to bez zastávky!





Jachta s pohonem na palivové články firmy MTU z Friedrichshafenu, Bodamské jezero. Nanotechnologie může takovýmto vozidlům dopomoci k nejvyšší eleganci, je možné vytvořit plachty z flexibilních textilních solárních článků, ačkoliv v tomto případě by musely být tmavé.



„Vzdušný červ“ Stuttgartské univerzity. Plánuje se použití jako přenosová stanice pro radiotelefonii.

Designová studie firmy Fuseproject, palivový článek pohání skútr nehlukně městem.

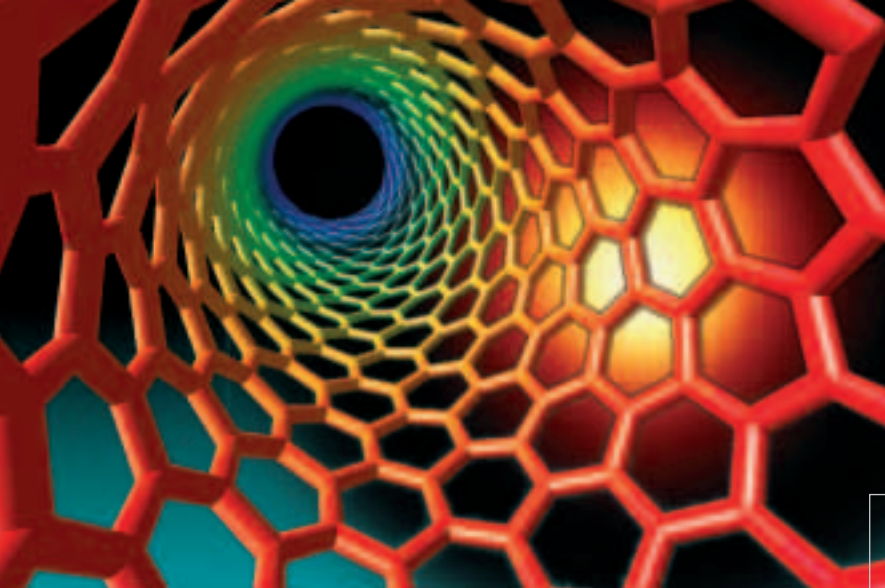
Tento projekt by skutečně mohl novým technologiím přinést zasloužený respekt a mimo jiné dát vzniknout celé řadě nových vozidel, například solárním letounům řízeným počítači, senzory a družicovým navigačním systémem GALILEO, které mohou vznést k výšinám i nováčky – nehlukně, bez škodlivin. Nad mraky má být svoboda zcela neomezená. Po Meklenburské jezerní plošině se pak možná budou prohánět solární katamarány.

Pedelec (zkratka pro Pedal Electric Cycle) elektricky podporované jízdní kolo pomáhá do sedla starším lidem, kterým by to bez pomoci činilo určité potíže. Na mnoha místech se vyvíjejí malá elektrická vozítka, aby zachránila města nořící se do výfukových plynů v oblastech, které procházejí rychlou industrializací.



Solární katamarán společnosti Kopf Solardesign GmbH podniká plavby v Hamburku a okolí.





Vize

Nanotrubičky s Betelgeuse, rudým obrem, v jehož atmosféře se vyskytují fullereny.

„Kývající se ulice“

Díky nanotechnologii jsou myslitelné i zcela utopicky vypadající dopravní systémy, například „kývající se ulice“.

Když budou k dispozici umělé svaly vhodné pro každodenní praxi (již se na tom pracuje), bylo by možné si představit ulice vyložené kývajícími se prvky, jakýmisi prsty, které pohybují předměty nacházejícími se na těchto ulicích jednoduše pomocí kývání. Jako buněčné výběžky, řasinky,

které jemným vlněním ze strany na stranu odstraňují nečistoty z plic. Nebo jako ty, které zajišťují pohyb prvka trepky. Tato myšlenka má prostor pro mnoho příkrášlení; v každém případě se již vážně uvažuje o malinkých, na tomto principu pracujících lineárních motorech, které pracují s rostlinnými svaly „forisomy“.

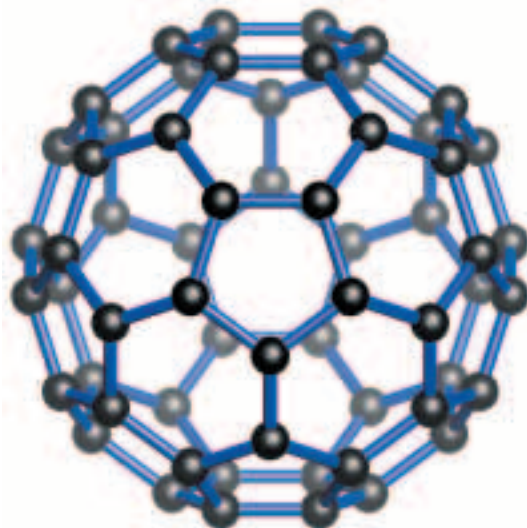
Dalšími kandidáty na umělé svaly jsou tkaniny z fullerenových trubiček. Tato myšlenka ostatně není tak fantastická jako výtah k planetám, který zcela vážně zkoumá NASA. Poprvé na něj pomýšlel ruský průkopník letů do vesmíru, Konstantin Eduardovič Ciolkovskij.

Konstantin Eduardovič Ciolkovskij (1857-1935)



Uhlíkové nanotrubičky pro výtah na oběžnou dráhu

Recept pochází z vesmíru: ve slupkách starých hvězd, například červeného obra Betelgeuse, obíhá mnoho různých prvků. Když spolu tyto prvky chemicky reagují, vznikají mimo jiné nanokrystaly karbidu křemičitého, oxidu křemíku, korundu a dokonce i diamant. To víme ze zkoumání meteoritů, které vznikly z takového prachu. Aby se zjistilo více, vytvořili vědci v laboratoři poměry panující v těchto slupkách hvězd – a v roce 1985 objevili stopy zcela neznámé látky. Ukázalo se, že se jedná o novou modifikaci uhlíku: dutou molekulu, která tvarem připomínala fotbalový míč. Opětovný pohled k nebi ukázal, že tato molekula vzniká také ve slupkách hvězd.

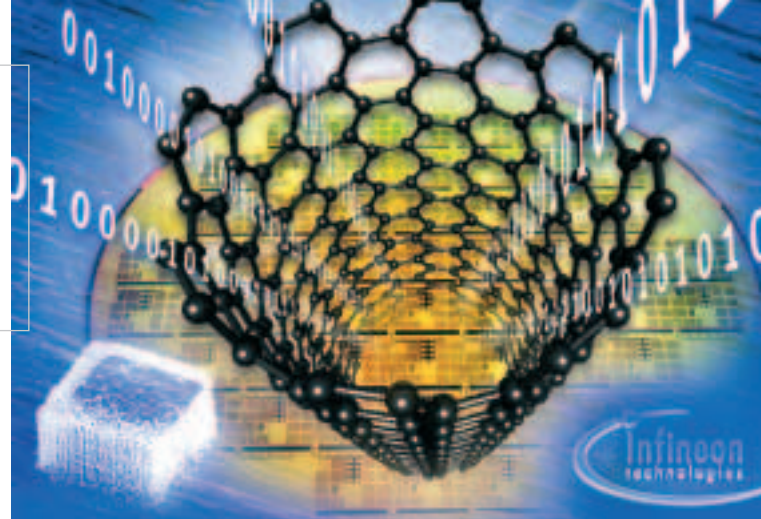


Fullereny, dutiny z uhlíkových sítí, nositelé naděje při pátrání po exotických materiálech.



Robert Curl, s fullereny na prstech, které mu přinesly Nobelovu cenu.

Obrovské molekuly jako špičkoví počítaři: nanotrubičky se mohou stát základem výkonných čipů budoucnosti.



Vize:
výťah k planetám.

Dnes je známo mnoho variant síťovitě vázaného uhlíku, mimo jiné uhlíkové nanotrubičky, drobkounké uhlíkové hadičky, které lze spřádat do velmi pevných materiálů. Otázka hromadné výroby takovýchto nanotrubiček je technicky v zásadě vyřešena.

Vyspělému kompozitnímu vláknu z nanotrubiček byly mezitím připsány astronomické pevnosti v tahu a lomové houževnatosti. S naprostou vážností NASA v současnosti studuje projekt, který – využívaje jistý druh indického triku s provazy – usiluje o vytvoření „výťahu ke hvězdám“. Podle jednoho scénáře se pomocí konvenční raketové a družicové technologie natáhne do vesmíru pás z kompozitního materiálu z nanotrubiček o šířce jednoho metru, který bude tenčí než papír. Jeden konec by se nacházel ve vesmíru ve výšce přibližně 100 000 km, druhý by byl ukotven v Tichém oceánu blízko rovníku. Pás by byl natažený díky gravitační síle Země a odstředivé síle směřující od Země. Na něm by se mohl dopravovat užitečný náklad vážící tuny na oběžnou dráhu Země a dokonce na oběžné dráhy mezi Venuší a pásem asteroidů. Užitečné vedlejší produkty těchto vizí: vysoce pevné konstrukční materiály pro výškové domy, mosty atp., a samozřejmě pro výťahy.

Příležitosti a rizika

Potenciál nanotechnologie k mnohým zlepšením, je zjevně velký. Díky inovacím v početných oblastech uplatnění se nanotechnologii připisuje značný hospodářský potenciál. Již dnes se zabývají v Evropě stovky podniků komerčním využitím nanotechnologie a nabízejí obživu a práci několika desetitisícům většinou vysoce kvalifikovaných lidí. V tom jsou vědci a podnikatelé zajedno: nanotechnologie je víc než jen nový „reklamní trhák“.

Příliš hezké, než aby to byla pravda? Přinejmenším teoreticky možný katastrofický scénář si již našel cestu do literatury: v bestselleru Michaela Crichtona „Kořist“ se roje šikovných nanočástic spojují do polointeligentních bytostí, které útočí na své tvůrce, aby se v nich uhnízdily.

Jiná chmurná vize amerického nanoprороka

Erika Drexlera, vidí svět ohrožený tzv. šedou břechkou, „gray goo“, šedým mračnem neovladatelných nanorobotů. Eric Drexler skutečně považuje za možné vytvořit nanoroboty veliké několik miliontin milimetru, kteří jsou řízeni

programem a dokáží z dodaného materiálu vybudovat něco nového a většího. Kdyby se tento proces dostal mimo kontrolu, vznikla by místo něčeho skvělého právě tato šedá břecha, která by mohla být nakažlivá a nebezpečná pro člověka i pro stroje.

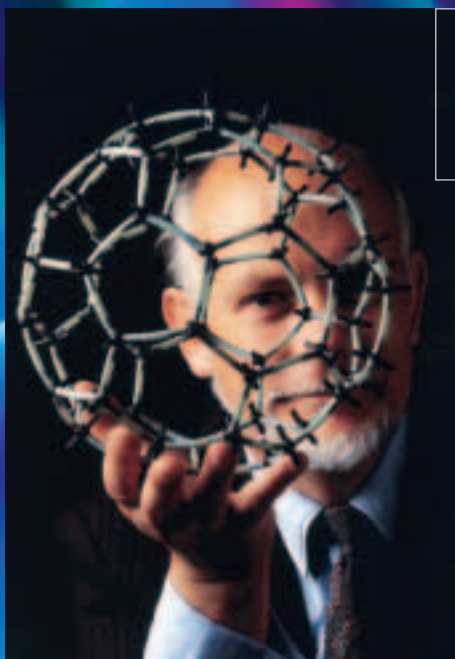
Tuto koncepci většina odborníků nebere vážně. Například Richard Smalley, nositel Nobelovy ceny za chemii z roku 1996, naproti tomu poukazuje na vlastnosti chemické vazby, že totiž nelze vzájemně spojit každý atom nebo každou molekulu. Už

Vzhledem k problému „tlustých prstů“ je scénář „gray goo“ Erika Drexlera stejně tak nepravděpodobný jako představa, že by se svět díky nanotechnologii proměnil v gumové medvídky.



z tohoto důvodu je představa nanorobota, jakéhosi montéra, nepravděpodobná.

Dalším, závažnějším protiargumentem je však to, že pokud by takový montér skládal hmotu atom po atomu, musel by k tomu používat „prsty“, které se zase skládají z atomů a musely by mít nutně určitou minimální tloušťku. A neznamenovalo by to jen uchopit vybraný atom, při skládání by bylo nutno zkontrolovat všechny atomy kubického nanometru,



Richard Smalley, nositel Nobelovy ceny za chemii, považuje – jako většina vědců – rizika nanotechnologie za zvládnutelná.

a do toho by se prsty nutně pletly. To je problém tlustých prstů. K tomu by přistoupil problém lepivých prstů, neboť uchopené atomy by se v závislosti na druhu nedaly libovolně uchopit a opět pustit, ale začaly by rovněž vytvářet vazby – což je jev známý z každodenního života: není snadné dostat z prstů lepivou kuličku.

To jsou zásadní námítky, jež nelze přehlížet. Z mechanických nanorobotů proto nic nebude. Richard Smalley má asi pravdu: obava, že by roje neovladatelných nanostrojů mohly řádit po světě a přeměnit jej na šedou břečku, je neopodstatněná. Odůvodněnější je spíše obava, že by nanočástice mohly mít nežádoucí účinky na člověka a životní prostředí.

Nanočástice by například díky své malé velikosti, která jim dokonce umožňuje pronikat do tělesných buněk a překonávat biologické bariéry (například hematoencefalickou bariéru), mohly mít zdraví škodlivé účinky. Protože nanočástice – stejně jako jiné ultrajemné prachy – například saze vznětového motoru ve výfukových plynech – jsou látky, které by s sebou mohly přinášet neznámé vedlejší účinky, musí vědecká zkoumání nejprve objasnit nezávadnost těchto částic. Dosud existuje jen málo poznatků o bezpečnosti

nanočástic, takže otevřené otázky musí být co nejdříve zodpovězeny odpovídajícími pokusy nanovýzkumníků a toxikologů. Přesto se zdá, že riziko je zvládnutelné, jelikož nanočástice jsou ve volné přírodě mimořádně „lepivé“. Proto se rychle nabalují do větších chuchvalců, s nimiž se tělo bez problémů vypořádá. O mnoha nanočásticích se již také ví, že nejsou zdraví škodlivé. Používají se proto v opalovacích krémech jako ochranný faktor nebo se přidávají ve vázané formě k jiným materiálům, takže spotřebitel se s jednotlivými nanočásticemi vůbec nedostane do styku. Mimoto průmysl usiluje pomocí vhodných bezpečnostních opatření o to, pokud možno co nejvíce vyloučit jakékoliv zdravotní riziko jak pro spotřebitele, tak i pro pracovníky.

Zatímco vize týkající se nanorobotů jsou hypotetické, předpovědi materiálových vědců, kteří pracují s nanodimenzemi, vypadají velmi reálně. Ostatně první produkty již existují, například vysoce citlivé snímací hlavy pevných disků s vrstvami tenkými dvacet nanometrů či méně. Nanoelektronika se nachází v každém novém notebooku. Jako každá výkonná technologie bude mít samozřejmě i nanotechnologie vedlejší účinky, takže se díky ní stane mnoho jednoduchých činností nadbytečnými. Místo nich vzniknou nové oblasti činnosti. Celoživotní učení bude stále důležitější, ale to může být i zábavné – s nanotechnologií.

Další informace

Jak se stanu nanoinženýrem?

Kdo navštíví výzkumné pracoviště, které se usilovně zabývá nanotechnologií, uvidí vlastně všechny přírodní vědy pohromadě: biologové, chemici, inženýři nejrůznějších oborů, krystalografové, mineralogové, fyzici – společným jmenovatelem je rovina atomu a částí společného jazyka matematika. K nanotechnologii tedy může vést klasické studium přírodních věd, nanotechnologie se však již začíná etablovat jako samostatná vědní disciplína, například v Německu na Univerzitě ve Würzburgu. Kdo se rozhodne pro obor nanotechnologie, říká Alfred Forchel z katedry fyziky na Univerzitě ve Würzburgu, ten se nemusí obávat, že se jedná pouze o krátkodobý trend (výťah z publikace abi 10/2003 Univerzity ve Würzburgu):

"Jelikož trend k miniaturizaci není krátkodobou záležitostí, ale má za sebou již dlouhý vývoj. Je pravděpodobné, že v mnoha oborech půjdou aplikace do stále menších měřítek, takřkajíc z mikro na nano, ať už v informační technologii nebo v chemii. Člověk nemusí být jasnovidcem, aby mohl tvrdit, že se všechno bude dále smršťovat – příkladem jsou stavební prvky – a sice na nejmenší možnou velikost."

Fyzici, chemici a ostatní přírodovědci mohou právem tvrdit, že se nanotechnologií zabývali vždy. Předměty klasické atomové fyziky i molekuly zkoumané chemiky přece sídlí v nanokosmu. Díky dnes existujícím experimentálním možnostem – například atomově přesné strukturování klastrů, vrstev, čipů; dostupnost látek nejvyšší ryzosti, objasnění nejjemnějších biologických struktur – se otevřelo nepřeberné množství zcela nových možností, kterých může využít i aplikační inženýrství. Profesní vyhlídky nanoinženýrů hodnotí Alfred Forchel jako dosti dobré:

"Samozřejmě šance najít si místo závisí i v našem oboru na hospodářské situaci. Rozdíl však často činí relativně malé věci: pokud společnosti dostávají kupy žádostí o místo, je těžké vyniknout. Díky naší praxi v průmyslu existuje přinejmenším jedna firma, které studenty již blíže zná. Naši studenti mohou rovněž napsat svou diplomovou práci v průmyslu, což je opět posunuje o krok blíže k zaměstnání. Kromě toho absolvují nejméně jeden netechnický volitelný obor, například podnikové hospodaření, takže disponují i zde základními znalostmi důležitými pro profesní život."

O důkladné přírodovědné vzdělání včetně matematiky však nanoinženýři nepřijdou, ve Würzburgu ani nikde jinde:

"Nestačí jen snít o vývoji ponorky, která může cestovat žilami. Než se tato představa uskuteční, je nutno vynaložit mnoho času a práce. Člověk se musí naučit popsat věci matematicky, ovládat fyziku a chemii, tedy těžké a tvrdé základy. Není však žádný důvod nechat se odstrašit: Vaše nanofantazie Vám pomůže se tímto pokousat."

Záležitost s ponorkou v žilách – to byl jen film. Nanotechnologie vypadá jinak, zato ale v ní mohou být skutečné peníze.

Kontaktní osoby, odkazy, literatura

Tato brožura pochází z německého Spolkového ministerstva pro vzdělávání a výzkum BMBF. Proto byla původně napsána pro německé čtenáře. Pokud jde odkazy na evropské studijní programy, literaturu a internetové adresy vyjma německých, podívejte se na internetový portál Evropské komise věnující se nanotechnologii (<http://cordis.europa.eu/nanotechnology/>).

Studijní možnosti

v oboru nanotechnologie v německu:
Obor „Nanostrukturální technika“ ve Würzburgu
Univerzita Würzburg
Internetová stránka: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>
Kontakt: ossau@physik.uni-wuerzburg.de

Bio- a nanotechnologie v Iserlohnu
Vysoká odborná škola Südwestfalen
Internetová stránka: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>
Kontakt: Werner@fh-swf.de

Molekulární věda v Erlangenu
Univerzita Erlangen-Nürnberg
Internetová stránka: <http://www.chemie.uni-erlangen.de/Molecular-Science>
Kontakt: hirsch@chemie.uni-erlangen.de

Magisterské studium v oboru mikro- a nanotechnika v Mnichově
Vysoká odborná škola Mnichov
Internetová stránka: http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm
Kontakt: sotier@physik.fh-muenchen.de

Nanomolekulární věda v Brémách
Mezinárodní Univerzita Brémy
Internetová stránka: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>
Kontakt: f.mueller-plathe@iu-bremen.de

Nanostrukturální věda – nanostruktura a molekulární vědy v Kasselu
Univerzita Kassel
Internetová stránka: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>
Kontakt: masseli@physik.uni-kassel.de

Experimentální bakalářské studium ukončené titulem „Bachelor of Science“ v biofyzice nebo nanovědách v Bielefeldu
Univerzita Bielefeld
Internetová stránka: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.html>
Kontakt: dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de

Studium ukončené diplomem v oboru „mikro- a nanostruktury“ v Saarbrückenu
Sárská univerzita
Internetová stránka: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>
Kontakt: wz@lusi.uni-sb.de

Použitá literatura (v němčině):

BMBF-Programm IT-Forschung 2006 - Förderkonzept Nanoelektronik

Vyd.: Spolkové ministerstvo pro vzdělávání a výzkum;
Bonn, březen 2002.

Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden, Nanoelektronik für den Menschen

Vyd.: Spolkové ministerstvo pro vzdělávání a výzkum;
Bonn, říjen 2002.

Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie

Vyd.: Spolkové ministerstvo pro vzdělávání a výzkum;
Bonn, březen 2004.

Bachmann, G.

Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Analyse & Bewertung Zukünftiger Technologien (Band 28)

Vyd.: VDI-Technologiezentrum v pověření Spolkového ministerstva pro vzdělávání a výzkum; 1998.

Luther, W.:

Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und –systemen

Technologieanalyse (sv. 43)

Vyd.: VDI-Technologiezentrum v pověření DLR; 2003

Wagner, V; Wechsler, D.:

Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie

Technologiefrüherkennung (sv. 38)

Vyd.: VDI-Technologiezentrum v pověření Spolkového ministerstva pro vzdělávání a výzkum; 2004.

Hartmann, U.:

Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts

ZPT, Saarbrücken, 2001.

Rubahn, H.-G.:

Nanophysik und Nanotechnologie

Teubner Verlag 2002

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft- WING

Vyd.: Spolkové ministerstvo pro vzdělávání a výzkum;
Bonn, říjen 2003.

Internetové odkazy:

Podpora nanotechnologie v EU
<http://cordis.europa.eu/nanotechnology>

Evropský portál o nanotechnologii
www.nanoforum.org

Nanotruck - cesta do nanokosmu
www.nanotruck.net

Internetové cestování – dobrodružství za desetinnou čárkou
www.nanoreisen.de

Novinky a diskusní fóra o nanotechnologii
www.nano-invests.de

Podpora nanotechnologie BMBF
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Nanotechnologický portál VDI-TZ
www.nanonet.de

Bysální vlákna: lidově také „lasturové hedvábní“ nebo „vousy“. Technicky velmi důmyslná vlákna, jimiž se mlži přichycují k podkladu. Na jednom konci jsou pružná jako guma, na druhém tuhá jako nylon.

CNTs: Carbon Nano-Tubes, uhlíkové nanotrubičky.

DNA: kyselina deoxyribonukleová. Velká molekula ve tvaru dvojité šroubovice, která obsahuje informaci pro stavbu organismu a recepty pro nespočetné množství proteinů.

ESEM: Environmental Scanning Electron Microscope – speciální rastrovací elektronový mikroskop, který připouští zbytkový vzduch a vlhkost na držáku vzorku. Zkoumané vzorky nemusí být speciálně ošetřeny, například napařením zlatem.

Fáze: zde: stav, například uspořádaný/neuspořádaný, krystalický/amorfní.

Forisomy: rostlinné proteiny nazvané podle latinského slova pro „křídla dveří“, které se zkoumají jako kandidáti na nanoskopické umělé svaly.

Fotosyntéza: zelené rostliny, řasy a cyanobakterie (sinice) získávají svou energii fotosyntézou. Pomocí slunečního světla přeměňují oxid uhličitý a vodu na cukry a kyslík. Fotosyntéza pracuje s udivujícím primárním využitím energie na více než 80 procent.

Klastry: shluky malých částic, v tomto případě atomů. Klastry mají většinou jiné vlastnosti než rozměrná hmota v pevné fázi stejného materiálu, mj. proto, že klastry mají mnoho povrchových atomů.

Kvantový počítač: využívá zvláštních pravidel kvantové mechaniky k rozlousknutí problémů (například kódování informací), které jsou pomocí běžných počítačů prakticky neřešitelné. Dosud nerealizováno.

Laboratoř na čipu: v konečném stádiu vývoje vysoce složitě čipy, které pomocí mikromechaniky, mikrofluidiky, nanosenzorů a nanoelektroniky mohou provádět složité výzkumy buněk, pro něž by dnes bylo zapotřebí celého ústavu. Tento název se již používá také pro poměrně jednoduchá mikroskopická podložní sklíčka.

Laser s volnými elektrony: vyrábí laserové světlo pomocí zrychleného svazku elektronů, které se pohybují ve vakuové trubici.

Leukocyty: bílé krvinky, brání tělo tím, že absorbují cizí tělíska v krvi, například viry a bakterie, ale také zbytky buněk nebo rakovinné buňky, nebo jako lymfocyty vytvářejí protilátky. Protilátky jsou velmi specifické „lepivé“ (adhezni) molekuly.

Litografie: umění vytvářet v mikrokosmu struktury, což se děje většinou pomocí fotolaku, který se popisuje světelnými nebo elektronovými paprsky, poté se vyvolá a podle přání se části podkladu zakryjí nebo odkryjí pro leptání a jiné, navazující procesy.

Maska: „diapozitiv“, který obsahuje struktury pro počítačový čip, které se poté pomocí fotolitografie přenesou na wafer.

Micely: malé, kulovité útvary, které příroda (v tomto případě mlži) používá také jako dopravní kontejnery.

Optické vlákno: vede světlo extrémně transparentním materiálem na dlouhé trasy, většinou za účelem přenosu dat, ale rovněž k přenosu energie.

Palivový článek: zařízení, v němž vodík a kyslík (obvykle ze vzduchu) reagují bez zapálení za vzniku vody, přičemž lze s vysokou účinností získat elektrickou energii.

Piezokrystaly: Piezoelementy vyrábějí elektřinu, když se natáhnou nebo stlačí, například zápalné jiskry v „elektronických“ zapalovačích. Obráceně lze piezoelektrický krystal tvarovat pomocí elektrického napětí, a to velmi jemně, na zlomky průměru atomu.

Pole mikročoček: mikrooptické prvky, které jsou důležité mimo jiné pro přenos informací pomocí světla.

Polovodič: materiál, jehož elektrické vlastnosti lze cíleně nastavit mezi izolátorem a vodičem. Polovodiče se staly jedněmi z nejdůležitějších součástí moderních průmyslových výrobků, jako jsou počítače, mobilní telefony atd.

Proteiny: velké molekuly složené z aminokyselin, které v buňce slouží částečně jako nanoskopické přístroje, částečně jako stavební materiál, pro oční čočky i pro nehty na prstech. Dekódování proteomu, souboru všech proteinů a jejich vzájemných účinků v buňce, stojí teprve na počátku.

Reflektin: speciální protein, který používají organismy k vytváření struktur odrážejících světlo.

Rentgenové záření: krátkovlnné elektromagnetické záření, které slouží mimo jiné k analýze krystalické struktury pro určování nanoskopické podoby molekul.

Ribozomy: nanostroje, které mohou vytvářet nespočetné množství proteinů a jsou ovládány molekulárním pásem s informacemi z genetického materiálu DNA.

Rozsivky: latinsky Diatomae, malé jednobuněčné řasy žijící ve sladkých i slaných vodách s velmi uměleckou schránkou z oxidu křemičitého a vody. Rozsivky jsou schopny fotosyntézy, mají proto také světlovodné struktury.

Tunelový proud: proud, který by vlastně neměl téci, protože prochází izolační mezerou, ale v nanokosmu téci může, ačkoliv to významně závisí na velikosti izolační mezery. Tento jev umožnil vytvoření rastrovacího tunelového mikroskopu.

UV záření: krátkovlnné záření, které umožňuje vyrábět velmi jemné čipové struktury.

Van der Waalsova vazba: slabá chemická vazba mezi molekulami, jejíž hlubší příčinou jsou vlastnosti volného prostoru. Van der Waalsovy vazby určují také vlastnosti vody, tedy všech životních procesů.

Zdvojovač kmitočtu: materiál, který zdvojuje kmitočet světla. Tak se například z infračerveného světla stává zelené světlo.

Přehled vyobrazení

- S. 4 nahoře: Centrum pro nanoanalytiku, Univerzita Hamburk
S. 4 dole: Lambda Physik AG, Göttingen
S. 5 nahoře: Infineon Technologies AG, Mnichov
S. 5 dole: BergerhofStudios, Kolín
S. 6 nahoře vlevo: Chemical Heritage Foundation
S. 6 nahoře+dole vpravo, dole vlevo: BergerhofStudios, Kolín
S. 7 nahoře vlevo: NASA/ESA
S. 7 nahoře vpravo: DESY, Hamburk
S. 7 uprostřed vlevo: BergerhofStudios, Kolín
S. 7 dole vpravo: Insitut pro experimentální a aplikovanou fyziku, Univerzita Kiel
S. 8 nahoře vlevo: REM laboratoř, Univerzita Basilej
S. 8 sekvence obrázků, shora BergerhofStudios, Kolín; dto; dto; REM laboratoř, Univerzita Basilej; Nobelův výbor Stockholm (upraveno); DESY, Hamburk
S. 9 nahoře vlevo: Botanický ústav, Univerzita Bonn
S. 9 nahoře vpravo: REM laboratoř, Univerzita Basilej
S. 9 sekvence obrázků, shora: BergerhofStudios, Kolín; dto; Fraunhofer Gesellschaft; Botanický ústav, Univerzita Bonn; dto; TU Berlin, FU Berlin
S. 9 obrázek na pozadí: BASF AG
S. 10, nahoře vlevo + vpravo: MPI für Metallforschung, Stuttgart
S. 10, uprostřed vpravo: ESA
S. 10, dole vlevo: MPI für Metallforschung, Stuttgart
S. 11, nahoře vlevo: Ostseelabor Flensburg, vedle: BergerhofStudios, Kolín
S. 11, nahoře vpravo: Univerzita Florencie, Itálie
S. 11, uprostřed vpravo: Paleontologický ústav, Univerzita Bonn
S. 11, dole vlevo: BergerhofStudios, Kolín
S. 11, dole vpravo: SusTech, Darmstadt
S. 12, nahoře, uprostřed a vpravo: Bellovy laboratoře, USA
S. 12 vlevo: katedra biochemie, Univerzita Řezno
S. 13, nahoře: Insitut pro nové materiály, Saarbrücken
S. 13, uprostřed vpravo: Degussa AG Advanced Nanomaterials
S. 13, dole vpravo: Insitut pro geofyziku, Univerzita Mnichov
S. 13, dole: Insitut pro fyzikální chemii, Univerzita Hamburk
S. 14, nahoře + dole vlevo: ESA
S. 14, dole vpravo: IBM Corporation
S. 15, nahoře + uprostřed vlevo: Physik IV, Univerzita Augsburg
S. 15, uprostřed vpravo+uprostřed: Centrum pro nanoanalytiku, Univerzita Hamburk
S. 15, diagram dole vpravo: BergerhofStudios, Kolín
S. 15, dole: Havajská univerzita, Honolulu
S. 16, vlevo: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
S. 17, nahoře vpravo: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
S. 17, dole vlevo: IHT RWTH Aachen
S. 17, dole vpravo: Schott AG, Mohuč
S. 18, nahoře vlevo: Bayer AG, Leverkusen
S. 18, dole vlevo: MPI für Quantenoptik, Garching
S. 19, všechny obrázky: DESY, Hamburk
S. 20, nahoře vlevo: BergerhofStudios, Kolín
S. 20, dole vpravo: Insitut pro nové materiály, Saarbrücken
S. 21, nahoře vlevo: HILIT, program EU Joule III
S. 21, nahoře vpravo: NASA/ESA
S. 21, dole vpravo: Univerzita Stuttgart
S. 22, všechny obrázky: BergerhofStudios, Kolín
S. 23, nahoře vlevo: National Semiconductor, Feldafing
S. 23, dole vpravo: Advanced Micro Devices, Drážďany
S. 24, nahoře vpravo: grafika: BergerhofStudios, Kolín
S. 24, uprostřed vlevo: Experimentální fyzika IV RUB, Bochum
S. 24, dole: Insitut pro experimentální a aplikovanou fyziku, Univerzita Kiel
S. 25, nahoře vpravo: graf: BergerhofStudios, Kolín
S. 25, dole: IHT RWTH Aachen
S. 26, nahoře vpravo: IBM Corporation
S. 26, dole vlevo: Infineon Technologies AG, Mnichov
S. 26, dole vpravo: IBM/Infineon, MRAM Development Alliance
S. 27, nahoře: Experimentální fyzika IV RUB Bochum
S. 27, uprostřed: Centrum pro nanoanalytiku, Univerzita Hamburk
S. 27, vpravo: Katedra nanoelektroniky, RUB Bochum
S. 27, dole: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Mohuč
S. 28: Siemens AG, Mnichov
S. 29, nahoře vpravo: Nanosolutions GmbH, Hamburk
S. 29, uprostřed: Insitut pro nové materiály, Saarbrücken
S. 30, dole: Siemens AG, Mnichov
S. 30, nahoře: DaimlerChrysler AG
S. 30, dole vlevo: Fraunhofer Allianz Optisch-funktionale Oberflächen
S. 30, dole vpravo: University of Wisconsin-Madison
S. 31, nahoře: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
S. 31, uprostřed: Audi/Volkswagen AG
S. 31, dole vlevo: tiskový archiv VW
S. 31, dole vpravo: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
S. 32, nahoře vlevo: Bayer AG, Leverkusen
S. 32, nahoře vpravo: Insitut pro nové materiály, Saarbrücken
S. 32, dole vlevo: Keramag AG, Ratingen
S. 33, nahoře: BASF AG, Ludwigshafen
S. 33, uprostřed: MTU Friedrichshafen
S. 33, dole vpravo: Siemens AG, Mnichov
S. 34, nahoře vlevo: Bayer AG, Leverkusen
S. 34, nahoře vpravo: Siemens AG, Mnichov
S. 34, dole: Infineon Technologies AG, Mnichov
S. 35, nahoře vlevo: Siemens AG, Mnichov
S. 35, nahoře vpravo: Siemens AG, Mnichov
S. 35 uprostřed: Charité Berlin / Insitut pro nové materiály, Saarbrücken
S. 36, nahoře vpravo: BergerhofStudios, Kolín
S. 36, vlevo: Infineon Technologies AG, Mnichov
S. 36, vpravo: IIP Technologies, Bonn
S. 37, nahoře vlevo: Siemens AG, Mnichov
S. 37, nahoře vpravo: Fraunhofer ISIT
S. 37, uprostřed vpravo: Oxfordská univerzita
S. 37, dole vlevo, vpravo: Infineon Technologies AG, Mnichov
S. 38, nahoře vlevo: OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Rejno
S. 38, dole: graf: BergerhofStudios, Kolín
S. 39, nahoře: Park Hotel Weggis, Švýcarsko
S. 39, dole: Siemens AG, Mnichov
S. 40, nahoře vlevo: BergerhofStudios, Kolín
S. 40, dole vlevo: Bayer AG, Leverkusen
S. 41, nahoře: AIXTRON GmbH, Aachen
S. 41, vpravo: Fraunhofer Insitut für Solare Energiesysteme, Freiburg
S. 42: Insitut für Flugzeugbau, Univerzita Stuttgart
S. 43, nahoře vlevo, vpravo: MTU Friedrichshafen
S. 43, uprostřed vlevo: Insitut für Luft- und Raumfahrt-Konstruktionen při Univerzitě Stuttgart
S. 43, uprostřed vpravo: Fuseproject
S. 43, dole: Kopf Solardesign GmbH, Hamburk
S. 44, nahoře vlevo: koláž: BergerhofStudios, Kolín
S. 44, dole vpravo: RWTH Aachen
S. 45, nahoře vlevo: Siemens AG, Mnichov
S. 45, nahoře vpravo: Infineon Technologies AG, Mnichov
S. 45, dole: NASA
S. 46, uprostřed: BergerhofStudios, Kolín
S. 47: IBM Corporation, vložený obrázek: Siemens AG, Mnichov



EUROPEAN
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

Uncovering the secrets of nanotechnology



Films available from: <http://www.cordis.lu/nanotechnology>

Contact:

Renzo Tomellini, European Commission - email: renzo.tomellini@cec.eu.int

Industrial technologies websites:

http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/index_en.html

<http://www.cordis.lu/fp6/nmp.htm>

<http://www.cordis.lu/nanotechnology>



NANOTECHNOLOGIES. KNOWLEDGE-BASED MATERIALS. NEW PRODUCTION

Evropská komise

EUR 21151 CS – Nanotechnologie – Inovace pro svět zítřka

Lucemburk: Úřad pro úřední tisky Evropských společenství

2007 – 56 s. – 21.0 x 29.7 cm

ISBN 92-79-00879-X

JAK ZÍSKAT PUBLIKACE EU

Publikace vydávané Úřadem pro úřední tisky, jež jsou určeny k prodeji, lze objednat na stránkách EU Bookshop <http://bookshop.europa.eu> u prodejce, kterého si zvolíte.

Můžete také zažádat o seznam prodejců z celosvětové sítě prostřednictvím faxu: (352) 2929-42758.

Nanotechnologie je považována za hlavní technologii 21. století. Může nabídnout řešení mnoha současných problémů prostřednictvím menších, lehčích, rychlejších a výkonnějších materiálů, komponentů a systémů. Nanotechnologie otevírá nové tržní příležitosti a může rovněž významně přispět k ochraně životního prostředí a zdraví.

Účelem této brožury je vysvětlit veřejnosti, co to nanotechnologie je, a vyvolat diskusi. Popisem vědeckého pozadí, technologického vývoje, oblastí použití a možného budoucího vývoje poskytuje tato brožura úplný a snadno srozumitelný pohled na současný stav nanotechnologie.