



EUROPEISKA
KOMMISSIONEN

EU-forskning

Nanoteknik

Innovation för framtiden



NANOTEKNIK OCH NANOVETENSKAP, KUNSKAPSBASERADE
MULTIFUNKTIONELLA MATERIAL, SAMT NYA PRODUKTIONS-
PROCESSER OCH PRODUKTIONSANORDNINGAR

Är du intresserad av europeisk forskning?

RTD Info är vår kvartalstidskrift som håller dig informerad om den viktigaste forskningsutvecklingen (resultat, program, evenemang och liknande). Den ges ut på engelska, franska och tyska. Ett gratis provexemplar eller gratis abonnemang kan beställas från följande adress:

Europeiska kommissionen
Generaldirektoratet för forskning
Enheten för information och kommunikation
B-1049 Bryssel
Fax +32 (0)2-29-58220
E-post: research@cec.eu.int
Internet: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html

Redaktör: EUROPEISKA KOMMISSIONEN

Generaldirektoratet för forskning
Direktorat G — Industriell teknik
Enhet G.4 – Nanovetenskap och nanoteknik

Kontaktpersoner: Dr. Renzo Tomellini, Dr. Angela Hullmann

E-post: renzo.tomellini@cec.eu.int, angela.hullmann@cec.eu.int

Url: www.cordis.lu/nanotechnology

Nanoteknik

Innovation för framtiden

Denna broschyr har kommit till i samband med ett projekt som finansierades av det tyska förbundsministeriet för utbildning och forskning (Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF) och genomfördes av det tyska ingenjörsförbundets teknikcentrum (Verein Deutscher Ingenieure – Technologiezentrum (VDI-TZ)).

Europeiska kommissionen vill tacka BMBF som har givit sitt tillstånd till att denna publikation översätts och görs tillgänglig för den europeiska allmänheten. Särskilt tack till Dr. Rosita Cottone (BMBF) och Dr. Wolfgang Luther (VDI-TZ) för deras hjälp med samordningen.

För närvarande finns denna broschyr endast på engelska och tyska (originalversionen). Översättningar på danska, estniska, finska, franska, grekiska, italienska, lettiska, litauiska, maltesiska, nederländska, polska, portugisiska, slovakiska, slovenska, spanska, svenska, tjeckiska och ungerska kommer att offentliggöras i pdf-version på webbsidan www.cordis.lu/nanotechnology så snart de finns tillgängliga.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Det tyska originalet finns på <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Utgiven av: Europeiska kommissionen, GD Forskning

Producerad av: Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF, Berlin

Samordning: Future Technologies Division, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Författare: Dr. Mathias Schulenburg, Köln

Layout: Suzy Coppens, BergerhofStudios, Köln

Tryck: Druckhaus Locher GmbH, Köln

*Europe Direct är en tjänst som kan hjälpa dig att hitta svar
på dina frågor om Europeiska unionen*

Gratisnummer*:

00800 6 7 8 9 10 11

(*) Vissa mobiltelefonoperatörer tillåter inte 00 800-nummer eller avgiftsbelägger dem.

ANSVARSFRIKRIVNING:

Varken Europeiska kommissionen eller någon annan part som verkar i kommissionens namn ansvarar för hur nedanstående uppgifter används.

Texten är helt och hållet författarens egen och Europeiska kommissionen kan inte göras ansvarig för innehållet.

På Internet finns stora mängder ytterligare information om Europeiska unionen.
Informationen kan nås via Europaservern (<http://europa.eu.int>).

Kataloguppgifter finns i slutet av denna publikation.

Luxemburg: Byrån för Europeiska gemenskapernas officiella publikationer, 2006

ISBN 92-79-00878-1

© Europeiska gemenskaperna, 2006
Kopiering tillåten med angivande av källan.

Printed in Belgium

TRYCKT PÅ VITT KLORFRITT PAPPER

Förord

Nanoteknik är en ny metod som har att göra med att förstå och behärska materiens egenskaper på nanonivå. En nanometer (en miljarddels meter) är längden på en liten moleky. På den nivån har materian annorlunda och ofta oväntade egenskaper, och gränserna mellan de traditionella vetenskapliga och tekniska ämnesområdena suddas ut. Därför har nanoteknik starka tvärvetenskapliga drag.



Ofta sägs det att nanoteknik har en ombrytande eller omvälvande potential när man talar om dess inverkan på de industriella produktionsleden. Nanoteknik erbjuder lösningar på många av dagens problem genom mindre, lättare, snabbare och effektivare material, komponenter och system. Detta medför nya chanser att skapa välfärd och sysselsättning. Nanoteknik förväntas också bidra kraftigt till lösningen av globala och miljörelaterade problem, genom att möjliggöra produkter och processer som är bättre anpassade till sin användning, spara resurser och minska avfall och utsläpp.

För närvarande görs enorma framsteg i den nanoteknikapplöpning som pågår över hela världen. Europa var tidigt ute med att investera i nanoteknik, och många nanovetenskapliga program startade redan under mitten och andra hälften av 1990-talet. Det har lett till att Europa har en stadig kunskapsgrund, och nu gäller det att det europeiska näringslivet och samhället kan skörda frukterna av denna kunskap genom utveckling av nya produkter och processer.

Ett av kommissionens senaste meddelanden har nanoteknik som ämne (*Mot en europeisk strategi för nanoteknik*). I meddelandet föreslås inte bara att man bör bygga ut den nanovetenskapliga och nanotekniska forskningen, utan även att man bör ta hänsyn till en rad andra ömsesidiga samband:

- Bättre samordning av nationella forskningsprogram och investeringar för att se till att Europas forskarlag och infrastruktur (spetsforskningscentra) är konkurrenskraftiga på internationell nivå. Samtidigt krävs det samarbete mellan offentliga och privata forskningsorganisationer runt om i Europa för att få till stånd en tillräcklig, kritisk massa.
- Man får inte heller glömma andra faktorer som påverkar konkurrenskraften, exempelvis adekvat metrologi, lagstiftning och immaterialrätt som kan bana vägen för industriellt nyskapande och leda till konkurrensfördelar, både för storföretag och för små och medelstora företag.
- Utbildning är av största vikt, och i Europa finns det inte minst utrymme att förbättra forskarnas företagsanda och utveckla produktionsingenjörernas inställning till förändringar. För verklig tvärvetenskaplig forskning inom nanoteknik kan det också krävas nya grepp inom utbildningen för forskning och näringsliv.
- Samhällsaspekter (som information till och kommunikation med allmänheten, hälso- och miljöaspekter eller riskbedömning) är andra viktiga faktorer om man vill garantera en ansvarsfull utveckling av nanotekniken som uppfyller allmänhetens förväntningar. Allmänhetens och investerarnas förtroende till nanotekniken kommer att vara avgörande för dess utveckling och framgångsrika tillämpning på lång sikt.

Denna broschyr vill redogöra för vad nanoteknik är och vad den kan erbjuda den europeiska allmänheten.

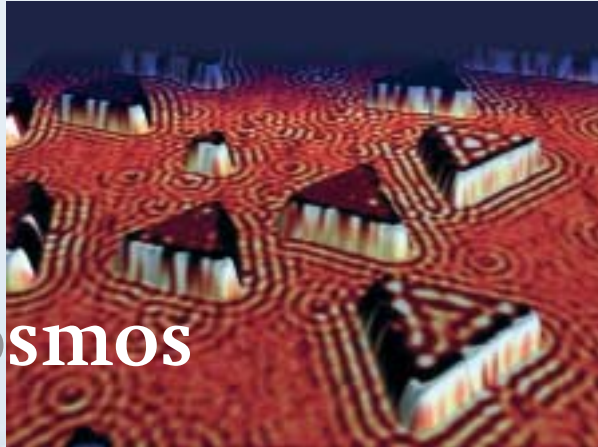
Ezio Andreta
Direktör "Industriell teknik"
Generaldirektoratet för forskning
Europeiska kommissionen

Innehåll

3 **Förord**

4-5 **Innehåll**

Resa till nanokosmos



6-7 **Atomen: en gammal idé med en ny verklighet**

8-13 **Nanoteknik i naturen**

Instrument och tillvägagångssätt

14-15 **Med blick mot nanokosmos**

16-17 **Skrivredskap**

18-19 **Impulser för vetenskapen**

20-21 **Materialdesign på nanonivå**



Nanoteknik för samhället



22-27 **Den sammankopplade världen: nanoelektronik**

28-29 **Nanoteknik i framtidens vardag**

30-33 **Rörlighet**

34-37 **Hälsa**

38-41 **Energi och miljö**

42-43 **Nanoteknik för idrott och fritid**

44-45 **Framtidsvisioner**

46-47 **Chanser och risker**



Ytterligare information

48 **Hur blir man nanoingenjör?**

49 **Kontaktpersoner, länkar, litteratur**

50-51 **Ordlista**

52 **Bildförteckning**

Resa till nanokosmos

Atomen: en gammal idé med en ny verklighet

Amedeo Avogadro
(1776-1856), Professor i
fysik i Torino, som gjorde
regndropparna mätbara.



Vår fysiska värld består av atomer. Det påstod den grekiske filosofen Demokritos redan för ungefär 2 400 år sedan. De moderna grekerna hyllade honom med ett porträtt på sina tio-drakmer-mynt. Dessa var mycket vanligt förekommande, precis som atomer. Atomer är så oerhört små – endast en tiondels nanometer, att en regndroppe består av 1 000 000 000 000 000 000 000 atomer. En nanometer är en miljondels millimeter.

Förhållandet mellan
diametern hos en
magnesiumatom och en
tennisboll är som mellan
tennisbollen och jorden. När
du äter en magnesium-
tablett nästa gång kan du
tänka på det!



Demokritos ande svävar över nanoscenen, detta
de obegränsade möjligheternas hav.

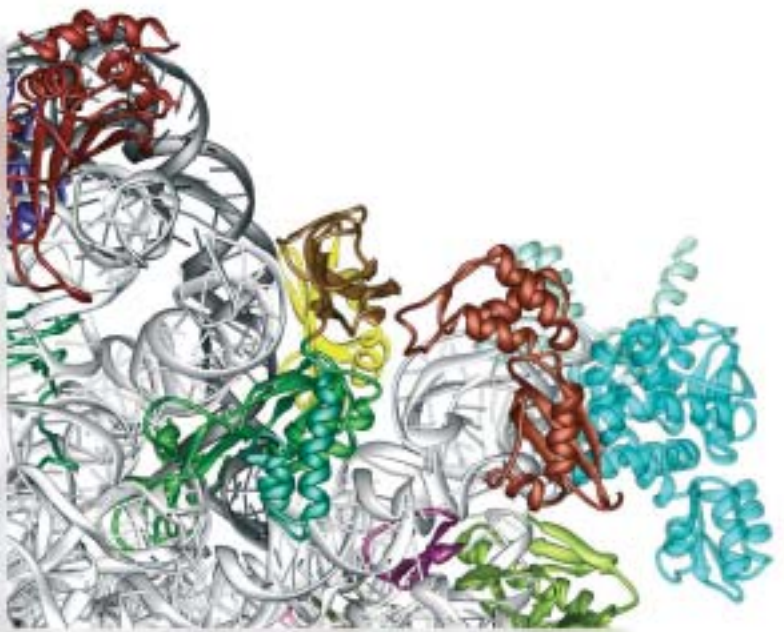
Lucretius, den romerske författaren, skrev några århundraden senare en dikt om atomer:
Universum består av oändlig rymd och ett oändligt antal av icke delbara partiklar, atomer, vars antal emellertid är ändligt... Atomer skiljer sig åt endast till sin form, sin storlek och sin vikt: de är ogenomträngligt hårda, oföränderliga, och utgör gränsen för fysisk delbarhet...
Det var ingen dålig beskrivning, även om det var ren spekulering.

Därefter tog det lång tid innan någon funderade på sådana frågor igen.

På sextonhundratalet funderade Johannes Kepler, den berömde astronomen, över snöflingor, i en skrift som han offentliggjorde 1611: deras regelbundna form kunde egentligen bara bero på att de bestod av enkla, likformade byggelement. Atomidén fick därmed en ny glans.

Vetenskapsmän som studerade mineraler och kristaller var allt oftare benägna att tro på atomer. Men först 1912 kunde ett konkret bevis läggas fram vid universitetet i München: En kopparsulfatkristall





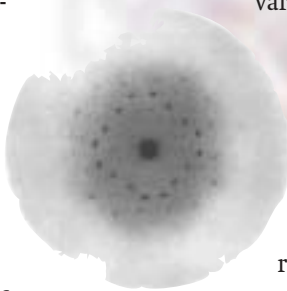
Nanomaskiner som exempelvis ribosomen kan nu tolkas kristallografiskt av Ada Yonath, DESY.

spjälkar röntgenstrålar på liknande sätt som tyget i ett paraply spjälkar gatlyktans sken: kristallen måste därför bestå av atomer som var anordnade i rader, som

trådarna i paraplytyget, eller som en stapel apelsiner i ett marknadsstånd. Skälet till att atomerna i kristallen är så regelbundet anordnade är enkelt: materien strä-

enklaste och fördel-regel-skikt är

Om man nötter i en de sig också i formationer: för ännu lättare.



var efter den bekvämaste ningen, och bundna bekvämast. skakar skål lägger regelbundna atomer är det

Men enkla inte alltid lättast att faldiga av själ-krafter har vår jord miljarder år mångfaldiga levande former.



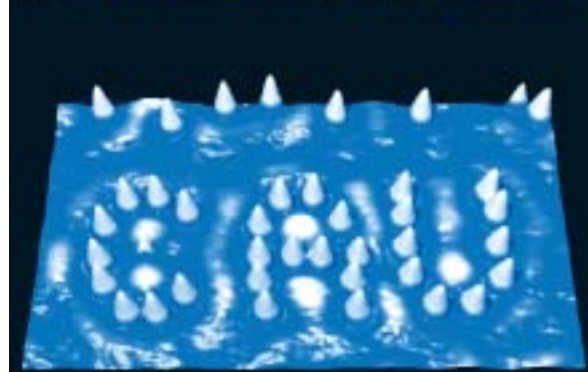
mönster är de som har mång-sig. Driven vordnande materien på under tagit sig fantastiskt

Med moderna analysredskap har man kunnat synliggöra den levande materiens komplexa beståndsdelar ända ned på nanonivå. Och med tunneltmikroskopet skapades under 1980-talet ett instrument med vilket man inte bara kunde se de enskilda atomerna i en kristall, utan även fösa omkring dem.

Många trodde att de första bilderna var förfalskningar. Men nu var vägen fri för en ytterst dynamisk ny gren: nanotekniken.

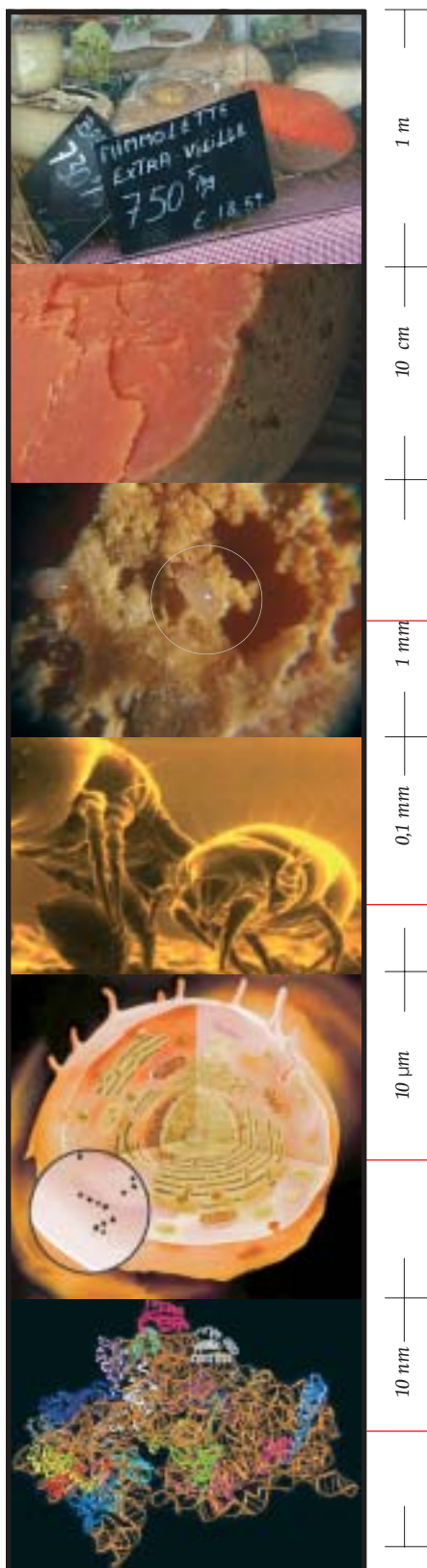


Med manganatomer återger professor Berndt i Kiel Christian-Albrechts-universitetets logotyp.



Nanoteknik i naturen

Nanotekniker är fascinerade av den levande naturen. Under de fyra miljarder år som den har existerat har den nämligen ofta kommit fram till förbluffande lösningar på de problem den haft att brottas med. Kännetecknande är att livet strukturerar materien in i minsta detalj, ända ned på atomnivå. Det är något som nanotekniker också försöker göra.



Atomer väcker inga varma känslor. De får en att tänka på väldiga explosioner eller farlig strålning. Egentligen gäller det emellertid bara för teknik som berör atomernas *kärna*. Nanoteknik berör atomernas *skal*, det är på den *nivån* som nanotekniken utspelar sig.

För att verkligen visa att atomer är helt vanliga företeelser som till och med kan vara riktigt goda i rätt kombination, ska vi bege oss in i nanokosmos inuti en ost.

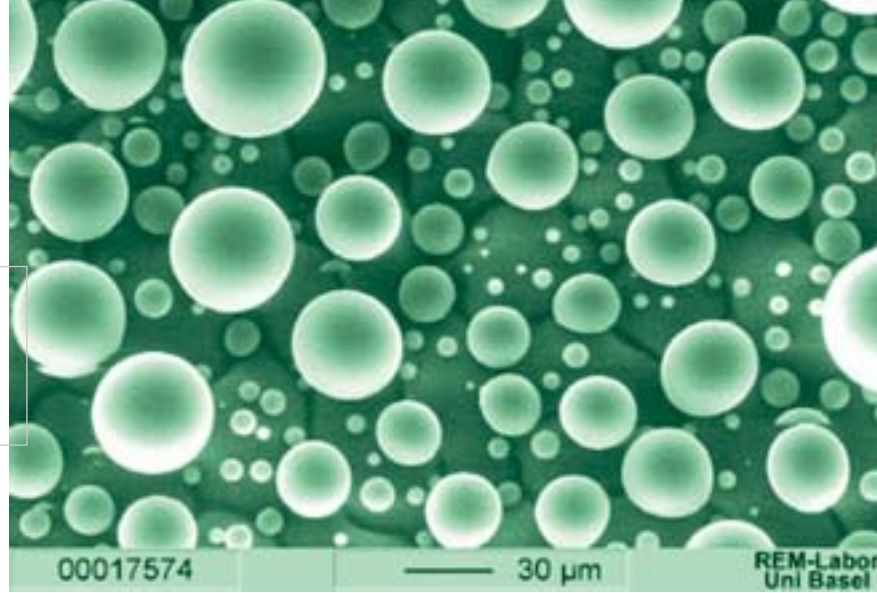
Mimolette är en ost som görs i Flandern. Ostens yta är full med små hålor som tyder på att osten är bebodd. Men det är med ägarens goda minne, för kvalstren förbättrar Mimoletteostens arom. Kvalstren är en tiondels millimeter långa.

Med ESEM, ett särskilt svepelektronmikroskop, kan man till och med studera dessa kvalster i levande tillstånd. Som alla andra levande organismer består kvalstren av celler. Cellens måttstock är mikrometern. En cell är utrustad med ett komplicerat maskineri, där ribosomerna utgör en viktig del. Dessa framställer olika proteinmolekyler enligt de ritningar som arvsanlagens DNA innehåller. En ribosom är ungefär 20 nanometer stor. En del av ribosomstrukturen har man nu kunnat bestämma in till de enskilda atomerna. Denna typ av nanoteknik har redan burit frukt: nya läkemedel som blockerar bakteriers ribosomer.



Lotusblomman tvättar sina blad genom den s.k. lotuseffekten, som fått sitt namn av blomman.

Vattendroppar på ett indianskräddblad, avbildade med ett särskilt svepelektronmikroskop (ESEM) vid universitetet i Basel.

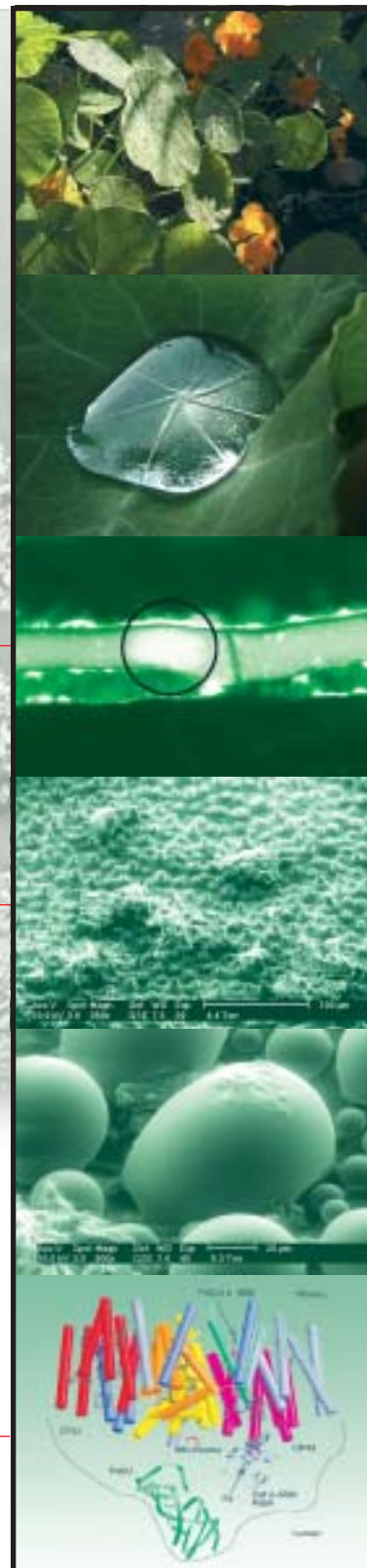


Lotuseffekt & co.

Indianskräddan håller sina blad rena med lotuseffekten. I ESEM svepelektronmikroskopet ser man hur vattendroppar stöts bort från bladytan. Det beror på bladens noppstruktur, som gör att vattnet snabbt pärlar av och för med sig smuts. Denna s.k. lotuseffekt, som i detalj har undersökts av professor Barthlott och hans medarbetare vid universitetet i Bonn, har redan utnyttjats i olika produkter som fasadfärg som får vatten att pärla sig och spola med sig smutsen. Badrumskakel med lotusstruktur är lätta att rengöra.

Men växtblad uppvisar ännu mer nanoteknik. Ofta styrs deras vattenhushållning av s.k. forisomer, mikroskopiska muskler som öppnar förbindelser i växternas kapillärsystem eller, om växten blir skadad, stänger dessa. Vid tre Fraunhofer-institut och vid universitetet i Gießen försöker man dra teknisk nytta av denna växtmuskel, till exempel för mikroskopiska linjärmotorer, för s.k. "laboratorium på ett chip"-tillämpningar.

På atomnivå hittar vi återigen otroligt avancerad teknik: Fotosyntesmekanismen som samlar den energi som behövs för livet på jorden. Varje enskild atom är viktig. Den som lyckas kopiera denna mekanism med nanoteknik kan alstra energi för all framtid.



1 m

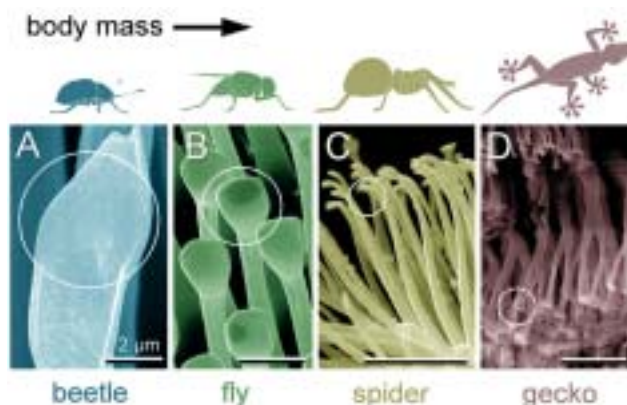
1 cm

50 µm

10 µm

1 µm

10 nm



I taket med nanoteknik: geckoödlan

Geckoödlor kan klättra uppför alla väggar, springa på ett innertak och hänga kvar i taket i en enda fot. Det är naturligtvis nanotekniken som gör det möjligt. Geckoödlans fot är täckt med tunna hår som är så mjuka att de på många håll kan komma underlaget bara någon nanometer nära. På så nära håll börjar den så kallade Van-der Waalsbindningen att verka, en egentligen mycket svag intermolekylär kraft som kan bära ödlan tack vare miljoner av häftpunkter. Bindningarna kan lätt lösas genom "avskalning", som när man drar av en tejprensa. Därigenom kan geckoödlan gå i taket. Materialforskare hoppas redan på ett syntetiskt "geckolin"-material.

Om lockämneskoncentrationen är hög klibbar de vita blodkropparna fast helt och hållet, och andra klistermolekyler drar dem sedan genom kärlväggarna till sticket, där de kan kasta sig över eventuella inkräktare: fulländad klisterteknik! Man håller redan på att försöka forska fram nanotekniska imitat av detta, för s.k. "bonding on command", styrd klistring.



Skalbaggar, flugor, spindlar och geckoödlor har avslöjat hemligheten bakom sin häftförmåga på Max-Planck-institutet för metallforskning i Stuttgart. De hänger sig fast med hår som ingår i en Van-der-Waals-bindning med underlaget. Ju tyngre djuret är, desto tunnare och fler hår har det.

Limma för livet

Livet existerar för att dess beståndsdelar hålls samman av avancerad nanoteknisk klisterteknik. Tänk på vad som händer när man får ett sår. Eller ett myggbett: Sticket blir rött när de minsta blodkärlen utvidgas så att svärmar av vita blodkroppar kan nå fram till sticket. Cellerna kring sticket avsöndrar ett lockämne som beroende på ämnets koncentration får blodkärlens cellväggar och de vita blodkropparna att avsöndra klistermolekyler som är anpassade till varandra och får de vita blodkropparna utmed blodkärlens väggar att bromsas upp genom lätt klibbning.

Musslor som klistermästare

Den vanliga blåmusslan, som man kan beställa kokt i grönsaksspad på skaldjursrestauranger, är en nanoteknisk klistermästare. När den vill fästa sig på en sten öppnar den sitt skal och sticker ut en fot, välver fotsulan till en sugkopp och sprutar genom små kanyler ut strömmar av klisterkulor, s.k. miceller, i det vakuum som uppstår. Där spricker kulorna och avsöndrar ett effektivt undervattenslim som genast skummar upp till en kudde. Musslan är sedan förankrad i denna stötdämpande kudde med elastiska byssustrådar, och kan nu spolas omkring av bränningarna utan att lossna.



Närbild på flugfötter.



Blåmussla med byssustrådar och fot.



Fraunhofer-institutet IFAM i Bremen utforskar modifierade mussellim som till och med ska kunna limma ihop krossat porslin så att det tål att maskindiskas. Även forskningsnätverket "Neue Werkstoffe und Biomaterialien" i Rostock och Greifswald har siktat in sig på musslorna.

Biomineralisering

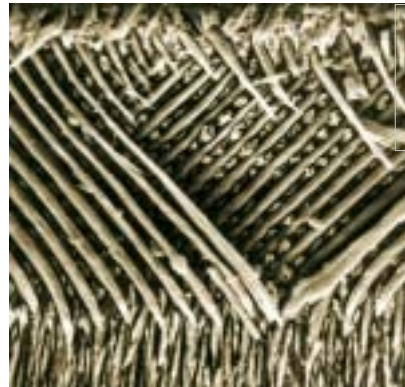
Men musslor kan mycket mer. Deras pärlmor består av miljontals mikroskopiska kalkkristaller i form av mineralet aragonit, som är mycket sköra en och en. Men i musslan är de sammankittade med skruvformade, superelastiska proteiner. Tre viktprocent protein räcker för att göra abalonenmusslans skal tre tusen gånger stötsäkrare än de rena kalcitkristallerna. På samma sätt förstärker sjöborrar sina upp till trettio centimeter långa taggar, som därigenom klarar bränningarna.

Genom biomineralisering uppstår även mycket fina konstruktioner. På sjöbotten i ett litet område nära Filippinerna lever venuskorgen, en tvättsvampsart. Denna organism är böjd som skidan till en turkisk dolk, men helt rund. Sitt namn har den fått efter formen på höljets innerskelett, som är ett nät av tunna kisel nålar, som korgflätningen i en stolsrygg. Nålar i detta nät är sammanflätade både i rät vinkel och diagonalt.

Venuskorgen är en mästare inom biomineralisering. Tvättsvampens celler fogar först samman mikroskopiska element av kiseljord (kiseloxid) med en diameter på

tre nanometer till tunna skikt. Dessa rullas sedan till kisel nålar, som i sin tur blir till stomme i korgflätningen, som därigenom klarar enorma tryckförändringar.

Venuskorgar – djuphavstvättsvampar som i dag ses som biologisk förebild för ljusledare.

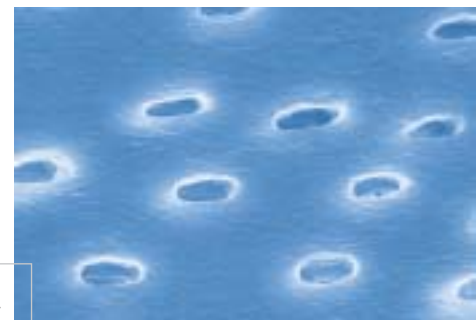


Det tredimensionella biomineralnätet i en vattensorks hörntand skyddar tuggytan mot sprickor.



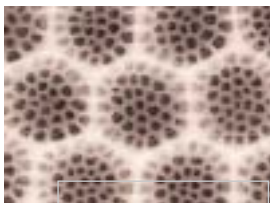
Teknisk biomineralisering: nanopartiklar reparerar tänder

När tänderna blir köldkänsliga eller värker när de kommer i kontakt med syra beror det ofta på små kanaler i tandemaljen, öppna dentinkanaler. Med hjälp av nanopartiklar av kalciumfosfat (apatit) från företaget SusTech kan man sluta till dessa kanaler tio gånger snabbare än med vanliga apatitberedningar. Det nymineraliserade materialskiktet betar sig som kroppens eget tandmaterial i munnen.



Nanoteknik i naturen

Biomineralisering hos diatoméer, kiselalger, spelade en gång en mycket strategisk roll. Dessa mikroskopiska väsen skyddar sig med skal av kiselasyra, vars huvudbeståndsdel är SiO_2 , kiseldioxid. På samma sätt som kvartsglas, som också består av kiseldioxid, är dessa kiselasyreskal mycket tåliga mot syror och baser, och ses därför av nanotekniker som tänkbara reagensbehållare för kristaller i nanometerstorlek. Ett sätt att skapa nanopartiklar genom kemiska reaktioner är nämligen att begränsa reaktionsvolymen. När reagensämnet är förbrukat förblir kristallerna som växer genom reaktionen små. Och diatoméernas skal innehåller många porer i nanostorlek, som kan fungera som nanoreaktorer.



Diatoméanskar – ovan motsvarigheten till en "blandarsvamp" (se även s. 21) – har största möjliga stabilitet med minsta möjliga viktack vare sin optimala form. Dessutom har de förmodligen ljussamlingsystem för organismens fotosyntesapparater, kloroplasterna. Skalet är alltså samtidigt pansar och mikrolinsfält.

Men hur uppstår de ofta mycket komplicerade diatoméskalerna? Denna fråga har nyligen fått ett första svar: Forskare vid universitetet i Regensburg har upptäckt att varianter av en känd proteingrupp, de så kallade "polyaminerna", i en rätt doserad kiselasyrlösning kan producera nanokulor med inställbar diameter på mellan 50 och 900 nanometer. Detta sker helt spontant, styrt av självreglerande krafter. På samma sätt skulle kiselasyreskalen spontant kunna uppstå, enligt enkla tillväxtmodeller.

Varför skulle diatoméskalerna ha haft en strategisk betydelse? 1867 upptäckte Alfred Nobel att kiselgur, kiseljord bestående av fossila avlagringar av diatoméskal, suger upp nitroglycerin och därigenom gör detta sprängämne mindre känsligt för stötar, som annars lätt leder till spontana explosioner. Blandningen kallade han för "dynamit", och vinsterna från dynamitförsäljningen lade grunden för den stiftelse som i dag finansierar Nobelprisen.



Sjöstjärnan *Ophiocoma wendtii* har ett perfekt mikrolinsystem som möjliggör optiskt seende. Ovan: synfältet på dagen, nedan: på natten.



Ovan: synfältet på dagen, nedan: på natten.

Nanoteknik i naturen: *Ophiocoma wendtii*, en ormstjärna stor som en handflata, var länge ett mysterium för forskningen. Djuret, vars tallriksformade, pansrade kropp har fem armar, skyndar sig in i ett gömsle så snart tänkbara fiender närmar sig, trots att det inte tycks ha några ögon. Till slut hittade man ögonen i djurets kalkskal. Skalet är översållat med fält av perfekta mikrolinser, som gör att ormstjärnans hela kropp blir ett komplext öga. Nanotekniken bakom detta? De enskilda linserna är kristalliserade på ett sådant sätt att kalkspatens egenskap att ge dubbelbilder inte kommer till sin rätt. Kristalliseringskontroll på nanonivå. Dessutom är linserna korrigerade för "sfärisk aberration" för att undvika oönskade färgskarvar. *Ophiocoma* behärskar alltså nanotekniska finesser som en gång gjorde linstillverkaren Carl Zeiss berömd.



Institutet för nya material i Saarbrücken, INM, har utvecklat nanopartikelteknik som gör det möjligt att förse metalleder med outplånliga, förfalskningssäkra hologram.



En annan sak som naturen inte klarar: keramik behandlad med nanosot för korrosionssäkra glödtändare till exempel i gasdrivna värmepannor. Eftersom keramikens ledningsförmåga kan ställas in krävs det ingen transformator.

Naturens gränser, det konstgjordas fördelar

Nanoteknik är alltså ren natur, men den levande naturens möjligheter är ändå begränsade: den klarar varken höga temperaturer, som keramikern behöver, eller metalliska ledare. Den moderna tekniken har däremot tillgång till konstgjorda betingelser, som extrem renhet, kyla, vakuum, under vilka materien får oanade egenskaper. Hit hör särskilt kvanteffekter, som delvis står i krass motsats till vardagens fysikaliska lagar.

Partiklar i nanokosmos kan till exempel samtidigt ses som vågor. Därför kan en atom, som ju är en enhet, passera samtidigt genom två springor, som en våg, och därefter återgå till att vara en enhet. Partiklar får helt nya egenskaper när de kommer ner i nanodimensionen. Metaller blir till halvledare eller isolatorer. Helt ospektakulära ämnen som kadmiumtellturid (CdTe) lyser i regnbågens alla färger, andra omvandlar ljus till ström.

När partiklar blir nanoskopiskt små ökar andelen ytatomer kraftigt. Men ytatomer har ofta andra egenskaper än atomer i partikelns mitt, och är ofta reaktivare. Guld i nanostorlek blir exempelvis en utmärkt katalysator för bränsleceller (se även avsnittet om rörlighet). Nanopartiklar kan också

förbindas med andra ämnen: material av sådana sammansättningar kombinerar sedan olika egenskaper. Ett exempel: Nanokeramikpartiklar med organiskt hölje som minskar vattnets ytspänning ger imfria badrumsspeglar.

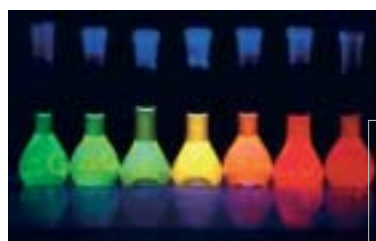
Särskilt behandlade nanopartiklar av magnetit, en järnoxid, kan blandas med olja för att bilda en magnetiskt formbar vätska, s.k. ferrofluid. Ferrofluid används allt oftare, exempelvis som tätmedel för skruvöppningar för vakuumbehållare och hårddiskhöljen, eller i reglerbara stötdämpare för maskiner och bilar.

Man ska inte låta sig skrämmas av att nanotekniken är komplicerad: ett äpple är också komplicerat med sina celler, ribosomer, sitt dna, utan att det gör frukten mindre omtyckt. Äpplen är nämligen mycket enkla att hantera, som väl fungerande nanoteknik.

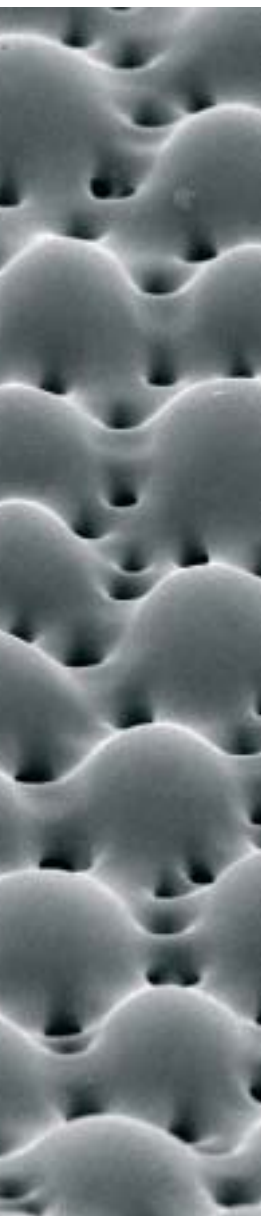
Magnetit-nanopartiklar i olja. Vätskan kan formas magnetiskt.



"Magnetotacticum bavaricum." Magnetbakterier kan syntetisera kedjor av nanomagnetiter och använda dem som kompassnålar.



Kadmium-tellurid-partiklar lyser, och färgen bestäms av partikelstorleken.



Instrument och processer

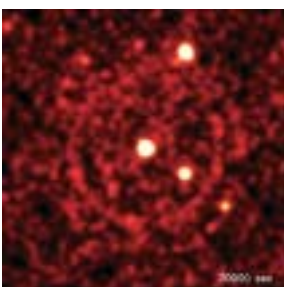
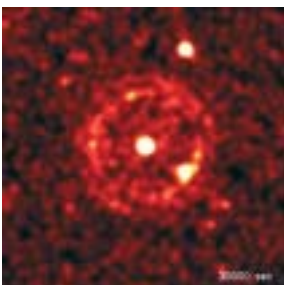
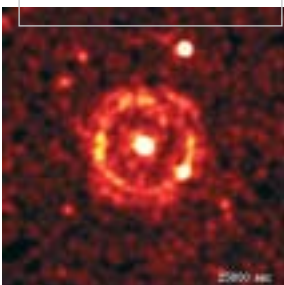
Ögon för nanokosmos



Nano i rymden: det europeiska röntgenteleskopet Newtons speglar är polerade till en släthetsgrad med genomsnittlig avvikelse på 0,4 nanometer. Här ser de röntgenstrålkällor i Andromedagalaxen.



En vetenskaplig sensation: en gammastrålblixt bränner ringar i ett galaktiskt dammoln.



Vad har det europeiska röntgenteleskopet "Newton" att göra med nano? Teleskopet fångar in röntgenstrålning från avlägsna objekt i 58 förgyllda spegelskålar, stora som papperskorgar och staplade enligt lökprincipen. Deras genomsnittliga ytskrovighet är endast 0,4 nanometer – ett mästarprov som optikföretaget Carl Zeiss AG har bidragit till på ett väsentligt sätt.

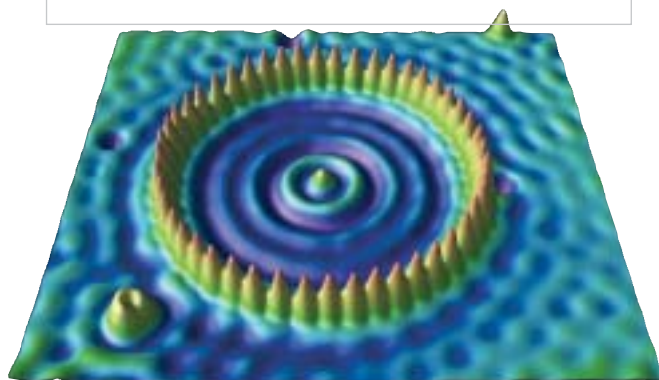
Precisionsröntgenspeglar för röntgenspektroskopi och – mikroskopi byggs upp av hundratals tunna skikt av två olika tunga grundämnen. Kraven på sådana speglar är ännu extremare; de olika skikten får bara avvika från idealmåtten med någon bråkdel av en atoms diameter. Denna teknik behärskar man på Fraunhofer-Institut für Werkstoff-und Strahltechnik i Dresden.

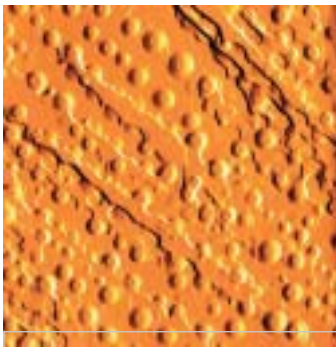
För det synliga ljusspektrumet har naturen också kommit fram till samma trick med reflektorer uppbyggda av flera skikt: Den nattaktiva bläckfisken Euprymna scolopes använder speglar av s.k. reflektinproteiner för att kasta ljuset från ljusalstrande bakterier nedåt, så att fiender som simmar under bläckfisken tror att de har stjärnhimlen över sig. Detta exempel på biologisk nanoteknik upptäcktes nyligen vid universitetet i Hawaii.

Svepspetsmikroskop

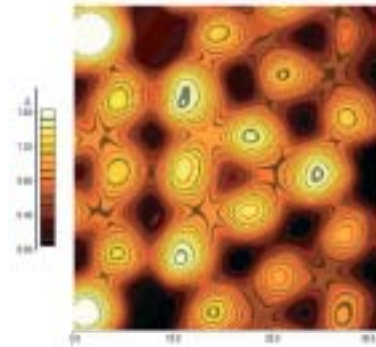
Svepspetsmikroskop som nanokosmos ögon låter inte så märkvärdigt, men det är det: det är inte för inte som utvecklingen av sveptunnelmikroskopet, föregångaren till alla svepspetsmikroskop, belönades med Nobelpriset. I svepspetsmikroskop för piezokristaller en spets fram och tillbaka över ett forskningsobjektet, varje gång lätt förskjutet. Det kan exempelvis

"Quantum Corral" från Don Eigler, IBM. Vågorna i dess inre speglar sannolikheten att träffa en elektron.

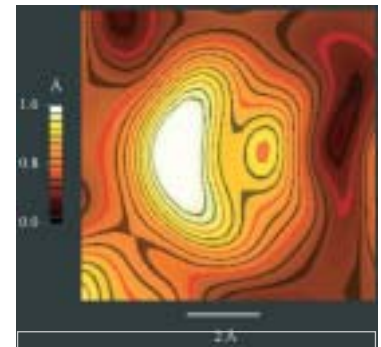




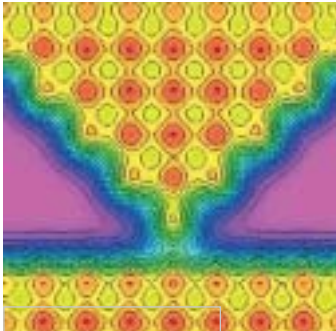
Kaliumbromidkristall med atomterrasser. Ungefär så här ser saltet på ett frukostägg ut. Kisel på nära håll, elektrontäta konturer i ett atomkraftmikroskop.



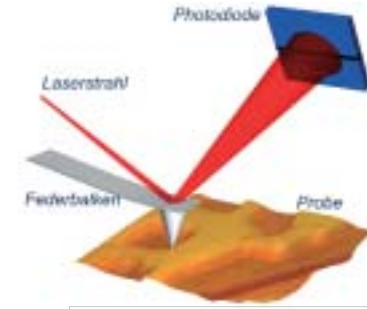
Du silicium en gros plan: le microscope à balayage de force dessine bien la densité des électrons.



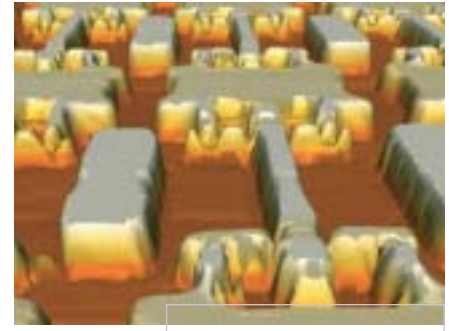
Den yttersta atomen i en givarspets med två uthängande elektronmoln, orbitaler, som i läroboken.



Klassisk spets i ett sveptunnelmikroskop (schematiskt).



Atomkraftmikroskopet: givarnålens styrning återges av en laserstråle på en fotocell.

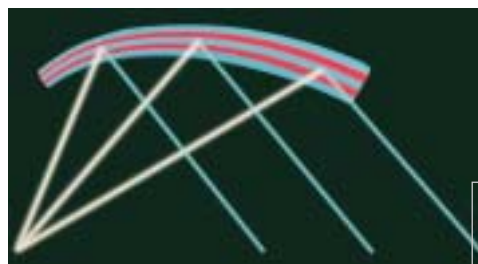


Med kapacitiva givare kan man avbilda kopplingsprocesserna på ett chip.

röra sig om atomfält. Rörelserna är minimala och avståndet mellan spetsen och atomfältet är normalt sett mindre än en atoms diameter. När spetsen förs över fältet händer något: ibland flyter det ström, ibland känns små magnetfält. Datorer tecknar mätningarna grafiskt, på en yta, så att man får en bild som beroende på den mätteknik som använts avbildar ned på atomnivå eller exaktare.

Särskilt avancerat är kraftmikroskopet, som spårar de minimala krafter som atomfältets atomer utövar på spetsens yttersta atom.

Därigenom kan man till och med se in i atomernas elektronskal och avslöja hemligheter i materiens innersta. Världsrekord i fråga om upplösning har för närvarande universitetet i Augsburg.



En välvd flerskiktsspegel för effektiv röntgenanalys.

"Euprymna scolopes" lurar sina fiender med flerskiktsspeglar av reflektin-protein. Ljuset kommer från lysbakterier.



Litografi

Litografiprocess: Ett chip är ett tredimensionellt objekt där alla grindar är placerade i enskilda plan. Ett modernt, avancerat chip kräver mellan 25 och 30 sådana plan, och varje plan kräver i sin tur en egen litografimatriss. Matrisens strukturer avbildas på ett wafar med hjälp av ljus från en s.k. wafestepper, en sorts diaprojektor med eget linssystem. Varje ny matris i en matrisfalls medför nya funktioner på chipet och gör detta mer komplext.

16

Utvecklingen av Dresden som elektronikcentrum är en av det tyska forskningsstödet stora framgångar. Den har lett till att ungefär 16 000 nya jobb har skapats i regionen, med stora innovationsvinster för hela tyska näringslivet. I projekt som finansieras av ministeriet för utbildning och forskning (BMBF) har det utvecklats en standard för den framtida användningen av 300-millimeterwafers, kiselkristallskivor, i tillverkningen av ytterst komplexa integrerade kretsar. Detta har skett genom samarbete mellan 44 parter från näringslivet och statliga forskningsorgan, bland annat 21 småföretag. Matristeknikcentret i Dresden, som utvecklat verktygen för strukturering av framtidens nanoelektronikchips, spelade en nyckelroll i detta samarbete.



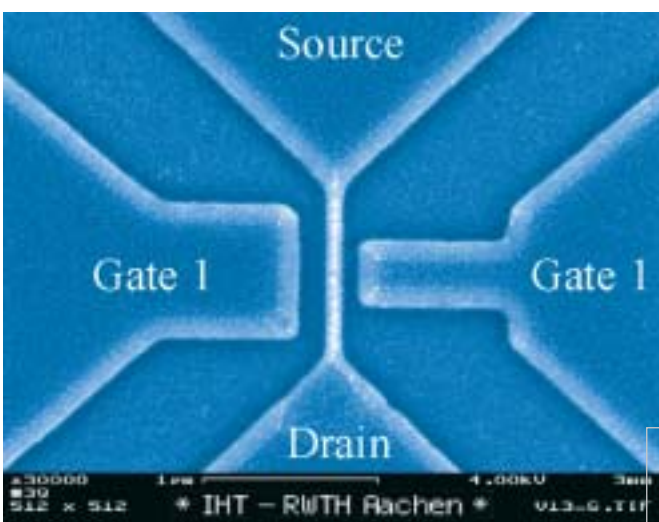
Prototyp till en anläggning för en extrem ultraviolett waferstepper för produktion av framtidens chipgenerationer.

Nanostämplat för småföretag

Om man tänker på nanoelektronik tänker man ofta på anläggningar som kostar miljontals, kanske miljarder kronor, men sedan genom sin enorma produktivitet ändå levererar överkomliga produkter. Men även för småföretag finns det möjligheter att utnyttja nanokosmos. Metoderna kan verka gammaldags vid första påsyn: för präglning med uv-ljusteknik, nanoimprint, präglas nanostrukturen mekaniskt (i ordets konkreta betydelse) i ett lack, som täcker det elektroniska substratet (t.ex. kisel). Stämpeln med de fina nanostrukturerna är av kvartsglas, som är genomskinligt för uv-ljus. När stämpeln har pressats ned i lacken får en ljusimpuls den ljuskänsliga lacken att polymeriseras, dvs. härdas. Sedan dras stämpeln tillbaka, och lackreliefen tunnas ut. Det frilagda kislet kan sedan styras godtyckligt. Genom att upprepa processen flera gånger med olika stämplat skapar man de komplexa strukturerna i ett chip med

transistorer, ledare osv. I labbet har man fått fram minsta strukturstorlekar på 10 nanometer. Processen är inte begränsad till elektroniska element, utan man kan också använda den för att ge metaller eller plast hårfina strukturer. Processen kan också leda till ett s.k. "laboratorium på ett chip", konstruktioner av mikro-/nano_strukturer där provhantering, separation och detektion är integrerade i en och samma mätcell. Kostnaderna för en nanoimprintmaskin med uv-ljusteknik ligger för närvarande på knappt en miljon euro, dvs. en bråkdel av vad motsvarande verktyg i en modern, konventionell chipfabrik kostar. Men nanoimprinttekniken med uv-ljus kommer ändå inte att leda till billigare produkter, eftersom genomströmningen är mycket mindre. Däremot kunde tekniken komma till användning för särskilda miniserier, som alltså är betydligt mindre omfattande än de processortillverkarnas storserier.

Zerodur till litografimatriser, den speciella keramiken håller stabil form till och på nanonivå.



Med stämplat till nanokosmos: vid institutet för halvledarteknik (IHT) på tekniska högskolan i Aachen (RWTH – Rheinisch-westfälische technische Hochschule) kan man med mekanisk-optiska metoder redan uppnå strukturkalibrar på 80 nanometer på chip. Detta kommer till användning i småserier av ytterst komplexa kretsar.

Impulser för vetenskapen

Spektrometer för röntgenstrukturanalys. Med hjälp av sådana instrument har forskningen skaffat sig kunskaper om nanokosmos.

Underjordisk bana för snabba elektroner.



Kvanteffekter

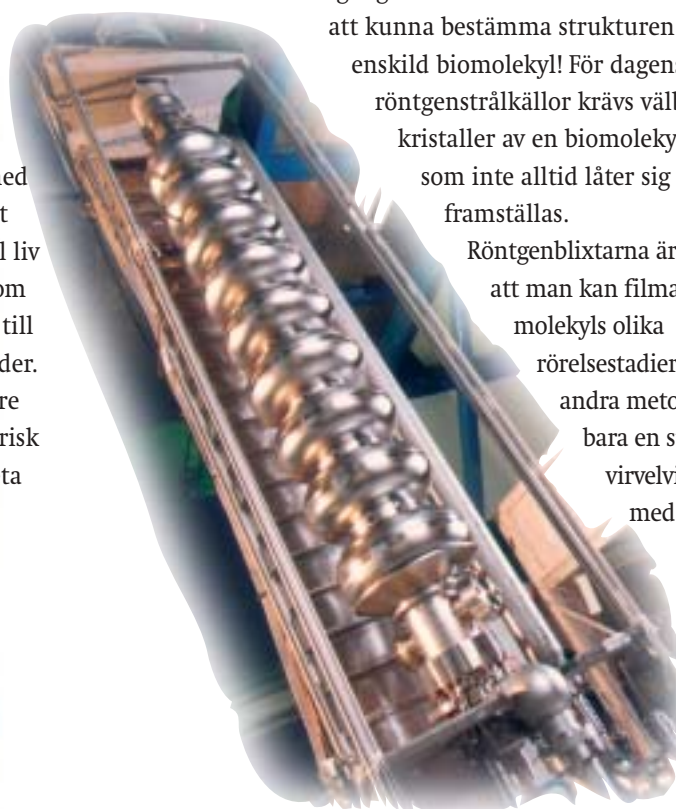
Vid Ludwig-Maximilians-universitetet i München försätter man redan rutinmässigt materie i extrema nanotekniska tillstånd, där den uppvisar häpnadsväckande egenskaper. Om man till exempel kyler ned ångan från hundratusentals rubidiumatomer till en miljondels grad över absoluta nollpunkten (-273°C) och innesluter den i ett magnetfält bildar atomerna ett "Bose-Einstein-kondensat". I detta utgör atomerna en enhet, som soldater som marscherar i formation. Kvantoptikerna i München kan driva in ett sådant block av atomer i ett tredimensionellt nätverk av stående laservågor, och manipulera det genom att exempelvis göra ljusfällorna så starka att blockets enhet bryter samman i en "Mott-insulator". Detta har belönats med ett renommerat pris. Varför? Därför att sådan forskning väcker kvantteorin till liv och driver på nanoforskningen. Den som verkligen förstår sådana fenomen kan till exempel utveckla exaktare cellstandarder. Exaktare klockor kan bidra till snabbare datautbyte på Internet. Skenbart esoterisk forskning kan alltså ha mycket konkreta ekonomiska aspekter.

"Mott-kondensat" – en exotisk materie för ultraprecis tidmätning.

Frielektronlaseranläggningen XFEL – starkt ljus för nanotekniken

Om allt går som det ska kommer ett par miljarder elektroner att få uppleva något mycket spännande under 2012. De startar på Desy-laboratoriets område i Hamburg-Bahrenfeld och accelereras av supraledande elektronacceleratorer till extremt hög energi. 3,3 kilometer längre bort kastar magneter dem systematiskt i slingerrörelser ur deras bana. Därvid uppstår kortvågig röntgenstrålning av en särskild sort: laserstrålning. Denna strålning blir den värdefullaste som forskare någonsin haft tillgång till. Med ett enda skott kommer man att kunna bestämma strukturen i en enskild biomolekyl! För dagens röntgenstrålkällor krävs välbyggda kristaller av en biomolekyl, något som inte alltid låter sig framställas.

Röntgenblixarna är så korta att man kan filma en molekyls olika rörelsestadier. Med andra metoder syns bara en suddig virvelvind, men med



Supraledande element för acceleration av elektroner.



Röntgenlaserblixtar på några få femtosekunder gör det möjligt att följa och utforska en kemisk reaktions förlopp i detalj, något som kan få praktiska tillämpningar inom exempelvis optoelektronik, fotoceller, bränsle- och solceller: nanoteknik på högsta nivå.

röntgenlaserna avtecknar sig rörelserna tydligt. Man kan också avslöja hemligheten bakom friktion: Vad som skapar friktion, och på vilket sätt, bestäms av öar i nanoformat, bestående av bara något hundratal atomer.

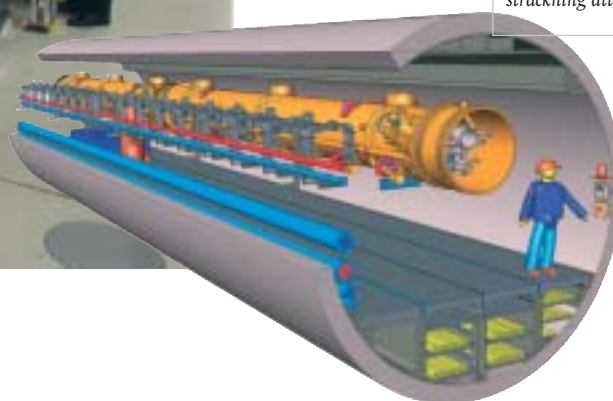
Med hjälp av frielektronlaseranläggningen XFEL kan man också lättare undersöka egenskaperna hos enstaka kluster och anhopningar av något hundratal atomer än med något annat instrument. Kort sagt ger Europas starkaste nanotekniska installation vind i

seglen åt vetenskap och forskning. De planerade 684 miljoner euro som anläggningen sammanlagt kommer att kosta (2003 års siffror) kommer med all sannolikhet att vara snabbt intjänade, och det inte bara i form av ren kunskap, utan i reda pengar.



Frielektronlasern under uppbyggnad.

Så kommer elektron-acceleratorns underjordiska sträckning att se ut.



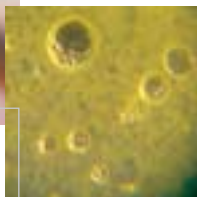
Materialdesign på nanonivå

Sol-gel-processer av största vikt för nya material

Bearnaisesåsen uppkallades till minne av Henrik IV av Frankrike, eftersom han kom från Bearn. Receptet kan man bland annat hitta på fysikwebbplatsen www.weltderphysik.de/themen/stoffe/magazin/materie/, eftersom såsen är ett utmärkt (och läckert) exempel på ett kolloidalt system. En kolloid är en vätska i vilken en mängd små droppar av en annan vätska svävar stabilt. I bearnaisesåsen svävar vinägerdroppar i smörfett.



Sol-gel åt en kung:
Bearnaisesås till ära för
Henrik IV av Frankrike.



Krämer och målarfärg är också kolloider. Med sol-gel-tekniken gör kolloiderna nu sitt intåg i den avancerade teknologin. Sol-gel-teknik innebär att man skapar ett (oftast kolloidalt) sol av lösliga föreningar av exempelvis kisel, där kiselhaltiga droppar svävar i ett medium. Om man sedan sprejar denna blandning, t.ex. på en plåt, och värmer denna, förångas mediet och kisel dropparna bildar ett nätverk, dvs. de blir till gelé. Slutligen bildar det geléartade nätverket ett hårt, keramiskt skikt. Plåten är nu skyddad mot korrosion och repor.

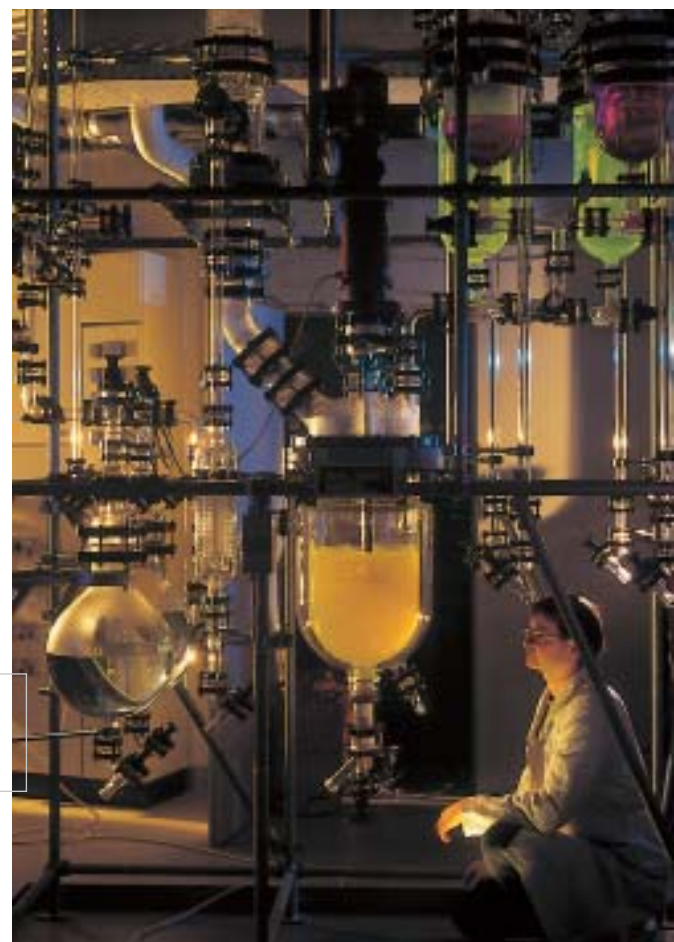
Sol-gel-teknik kan användas i hundratals variationer, för en mängd olika ämnen. Sollösningar i geléstillstånd kan också formas till trådar som – efter bränning – blir till keramikfibrer, eller pulver i nanoformat som låter sig brännas till keramik betydligt enklare och vid betydligt lägre temperaturer än vanliga keramikpulver, och som klarar högt tryck och höga temperaturer.

Redo för de minsta
partiklarna:
sol-gel-partikelreaktor.

Sol-gel-teknik kan till och med tillämpas för tillverkning av avancerade optiska komponenter som optiska fibrer, frekvensdubblare, mikrolinser och liknande. Denna nanoteknik kommer att revolutionera materialtekniken.

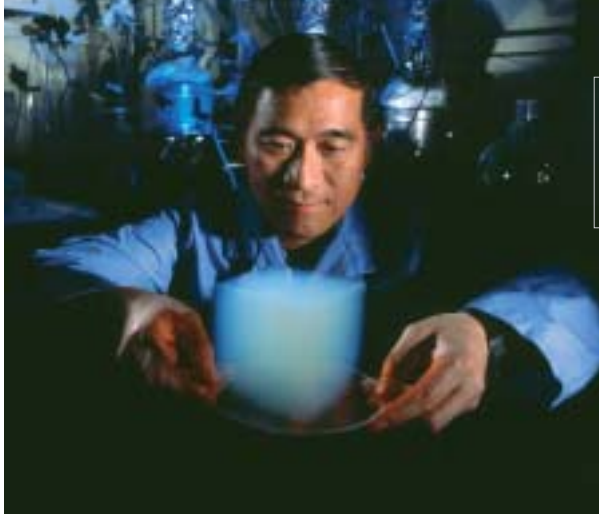
Det medium som används när ett gel skapas kan i vissa fall även avlägsnas så att gelkroppen behåller sin yttre volym, och blir till ett otroligt poröst material med låg densitet, ett aerogel.

Dans certaines conditions, les solvants en gel peuvent aussi être éliminés de sorte que le gel conserve son volume d'origine et produit un matériau hautement poreux de très faible densité, un aérogel.





Tvåglasfönster fyllda med aerogel minskar värmeförluster.



dammfångare i forskningens tjänst. Partiklar som träffar aerogelen innesluts säkert i smält aerogelmassa.

Kometen "Wild 2" fick besök av ett aerogel.



Aerogel

Aerogel är vardagsmat, det har alltid funnits på konditoriet, och kallas då "maränger". Det är sockrad, uppvispad äggvita, och om man tar en maräng i sin hand känner man hur fingrarna blir varma. Det beror på att luften i marängen är innesluten i miljontals mikroskopiska blåsor, så att den inte kan cirkulera och inte kan utbyta någon värme. Marängen är en värmeisolator, på samma sätt som frigolit. Liknande aerogel av skummat glas är därför extremt bra värmeisolatorer. Äggvita är färglös, men en maräng är vit. Det beror på att äggviteskummet bildar mikrometerstora blåsor, och strukturer i mikrometerstorlek bryter ljus i alla färger, så att summan blir vit. Porer i nanometerstorlek bryter inte längre något ljus.

Genom skum med porer i nanostorlek kan man se nästan lika klart som genom vanligt fönsterglas. Tvåglasfönster fyllda med sådant skum ger bra fönsterglas med utmärkt värmeisolering.

Eftersom sådant skum nästan helt består av luft kallas de för aerogel. Det är tillverkningsprocessen som gör att man talar om "gel", en vattenlösning av ett lämpligt material blandas med en katalysator som bildar små runda blåsor med ytterst tunna väggar. Dessa binder sig i kedjor och sedan i kedjeansamlingar, dvs. de bildar ett gel. Detta gel torkas sedan, och bildar ett fjäderlätt aerogel.

Det mest beresta aerogelet finns i firman Hoerner & Sulger GmbH:s dammanalysator CIDA, som efter fem års resa, eller 3,22 miljarder kilometer, i januari 2004 lyckades fänga in damm från kometen "Wild 2".

Ett material som består av många små blåsor har en stor inre yta. Största möjliga inre yta, nämligen oändligt stor, har ett skum som bara finns i matematikers tankevärld och som Karl Menger tänkt ut. Dess volym är noll. Men riktiga aerogel har fortfarande tillräckligt stor faktisk inre yta för att möjliggöra häpnadsväckande effekter. I en sockerbitstor aerogelklump av kol ryms till exempel 2 000 kvadratmeter inre yta. Dessa och andra egenskaper ger kol en säker plats i framtidens energiteknik. Sådana material gör det möjligt att bygga kondensatorer med upp till 2 500 Farad, som till exempel kan användas som energilager för energiförbrukningstoppar i elbilar. Detta smarta skum kommer också att möjliggöra bättre litiumbatterier och nya bränsleceller. Sällan har det funnits så stor potential i nästan ingenting: en typisk nanoegenskap!

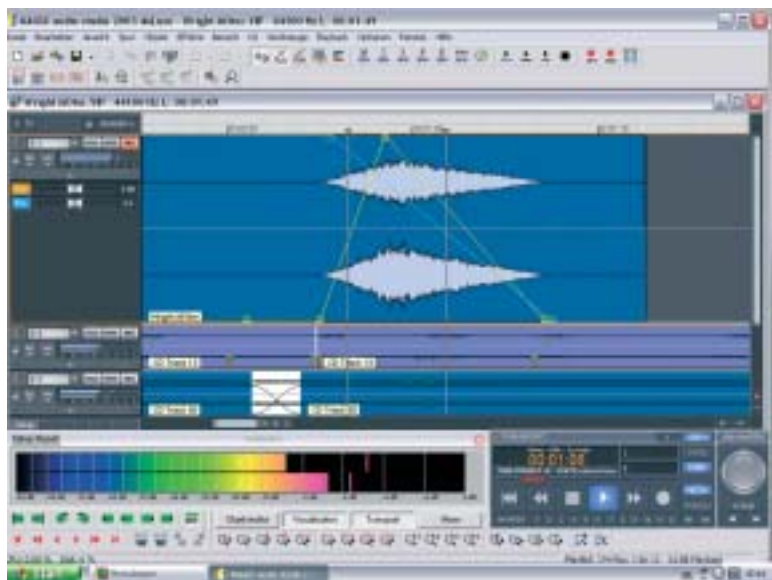
Matematiker betraktar Mengers svamp som "universalkurva". Den uppstår om nedanstående procedur upprepas i det oändliga.



Nanoteknik för samhället

Världen på nätet: nanoelektronik

Från dator i studion till studio i datorn – senaste tekniken



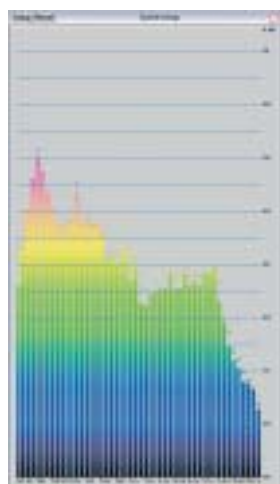
Orville Wright mycket övertygande med Flyer One över Kill Devil Hills, som den 17 december 1903, med bränningar och strandgräs som visslar i vinden: på en bärbar dator. (Andra flygpionjärer som tysken Gustav Weißkopf hade redan flugit så tidigt som 1901, men deras uppfinningar lyckades inte slå igenom.)

Så sent som för tjugo år sedan hade ett sådant här uppdrag varit helt oöverkomligt för en enskild, och hade krävt utrustning på flera ton. I dag räcker det med en bärbar dator, ett miniskrivbord och några timmars tid. Uppslagsboken finns på en dvd, som innehåller alla 30 tunga band och som gör snabba sökningar mycket enklare än i den gamla pappersversionen. Ljudprogrammet är helt virtuellt, finns lagrat på hårddisken, och erbjuder enorma mängder effekter i talrika virtuella applikationer. Genom den moderna pc:n inleddes en process med ständigt minskande materialåtgång, som också kommer att medföra minskade energiströmmar. Samtidigt har de sjunkande priserna för hård- och mjukvara givit vanligt folk möjlighet att utveckla sina kreativa sidor med fantastiska produktionsverktyg.

I framtiden kommer det inte att vara ovanligt att man kan bära med sig ett bibliotek vid handleden, eller att kommunicera interaktivt och mobilt.

Detta uppdrag: fyra och en halv minut radiosändning om bröderna Wrights första motorflygning, med lite passande bakgrundsatmosfär. Vad gör en engagerad radioskribent i en sådan situation? Till att börja med tittar man på brottsplatsen. Den virtuella jordgloben visar Kitty Hawk på en några kilometer bred landremsa vid Nordatlanten, med Kill Devil Hills i bakgrunden, alltså måste bröderna Wright ha hört bränningarnas dån. Sånt finns i

ljudarkivet, likaså den styva brisen som enligt *Encyclopaedia Britannica* blåste vid den första flygningen, med prasslande strandgräs. Motorn hade ett varvtal på 1 200 varv i minuten, och i ljudarkivet finns en äldre Chrysler, med djupt mullrande motorljud. Spektroskopet i ljudprogrammet visar tänkbara frekvenser, det tar vi. Den första flygningen tog tolv sekunder, och vi väljer en sekvens där ljudet blir lägre mot slutet, på grund av dopplereffekten. I ljudprogrammet läggs allt detta in på olika spår över varandra. Flygplanet flyger från vänster till höger, och det kan ställas in med panoramakurvor. Motorljudet tilltar och avtar igen, det ställs in med volymkurvor. Och så flyger





*Tv-studio på en fingernagel:
multimediechip medstyrsystem för
bildskärmsstyrning med hög upplösning,
med en energiförbrukning
som en ficklampa.*

Nanoteknik under de kommande åren

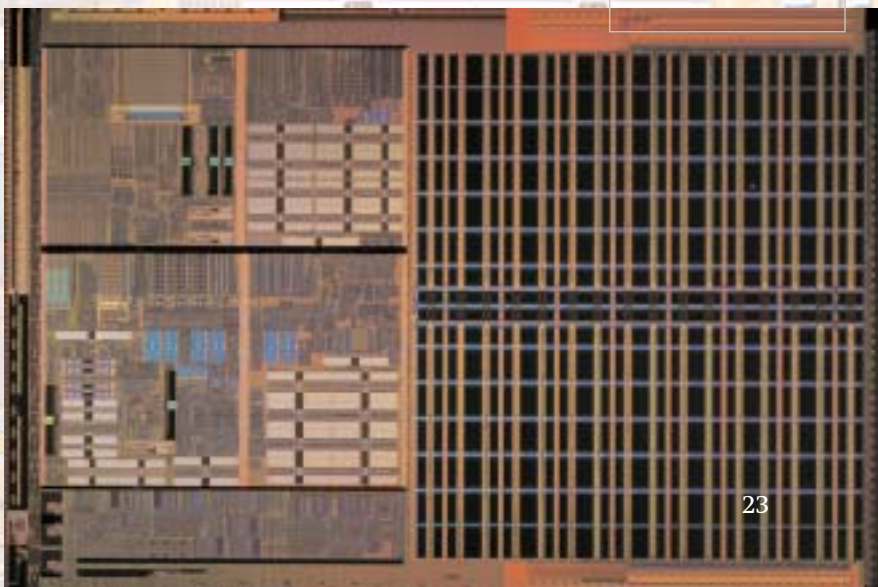
Den transistorteknik som i dag används i datorernas processorer kallas för CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) och utvecklades bland annat för de första elektroniska armbandsuren, eftersom den kräver mycket mindre ström än sina föregångare. Sedan trettio år har fackfolk varnat för att tekniken kommer att nå sina gränser inom tio till femton år. Det säger de även i dag. Men i dag finns det ofrånkomliga skäl för elektronikindustrin att tro på att deras strukturer inte kommer att kunna förminsas löpande i all evighet: På väg in i mikrokosmos börjar materiens kornighet synas, dvs. materiens atomstruktur. Men atomernas elektronskal är de minsta byggelement som under normala förhållanden låter sig sammanfogas till hållbara tekniska strukturer. Det innebär att man snart har nått en principiell gräns. En ledare kan inte vara tunnare än en atom.

Men det finns andra, mycket tidigare gränser för CMOS-tekniken, som ibland kan verka mycket egendomliga. Ledarna som förbinder transistorerna i ett chip med varandra är redan nu så små att aluminiumatomer skulle bli instabila och spolade med av elektronströmmen som grus i en bäck. Detta kallas för "elektromigration". Motmedlet är att använda ledare av koppar, som dessutom leder bättre än aluminium och ger snabbare signalflöde i chipet. Ledarna ligger nu dessutom så tätt att det uppstår en kännbar kapacitet, som i en kondensator. Om man inte skulle ta hänsyn till denna effekt när chipet konstrueras skulle det kunna komma i otakt. Vissa strukturer i chiptransistorer blir numera mindre än tjugo nanometer och omfattas därigenom av kvantteorin, där bland annat tunneleffekten verkar:

Det flyter ström där det inte skulle finnas någon i en större transistor, eftersom det elektroniska slussystemet läcker.

Strömmarna är visserligen minimala, men med miljontals transistorer blir slutresultatet ändå betydande förluster som gör att processorn blir het. Dessutom leder fritt flytande laddningar till logikfel som kan få fatala följder. I extremt fina strukturer börjar slutligen elektronernas vågegenskaper synas, så som det beskrivs i kvantteorin. Många forskare ser detta samtidigt som en chans att få fram en helt ny typ av elektronik, och kanske bygga en kvantdator som kan utforska helt nya matematiska universum.

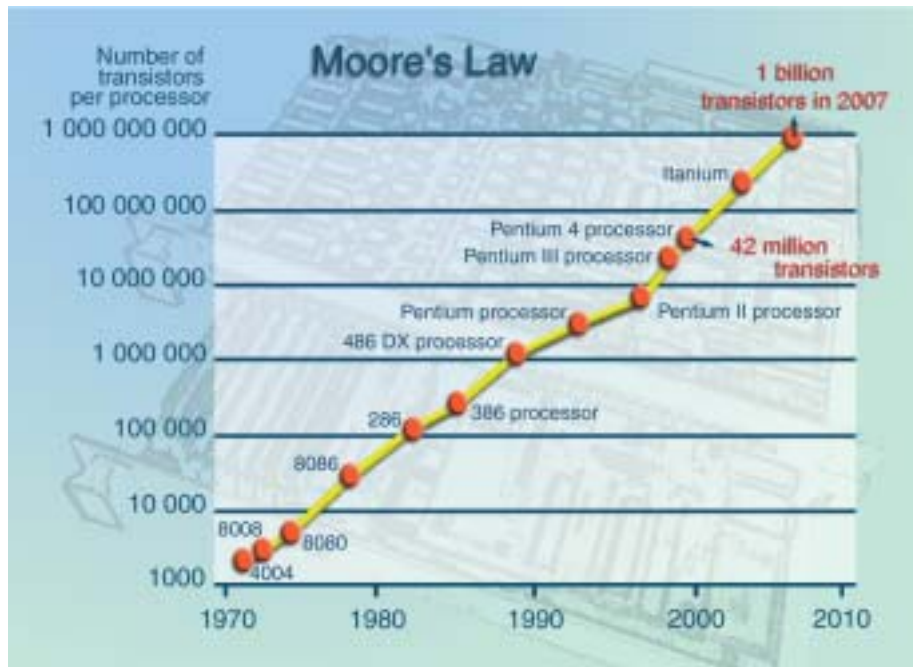
*64bit-processor från AMD
för pc med 106 miljoner
transistorer i 130nm-
teknik.*



Moore's lag når sina gränser

Redan 1965 upptäckte Gordon Moore, en av grundarna till företaget Intel, att mikrochipens kapacitet fördubblas i genomsnitt var artonde månad. Denna "lag" ifrågasätts nu även på grund av ett mycket mänskligt problem. Visserligen uppnår man år för år cirka 50 % ökning av antalet transistorer per chip, men analytiker klagar på att chipdesignproduktiviteten numera bara ökar med 20 % per år. Industrin har försökt överbrygga detta genom att ständigt bygga ut sina designteam, som nu ofta uppgår till 250-300 personer och därmed blir svåra att styra.

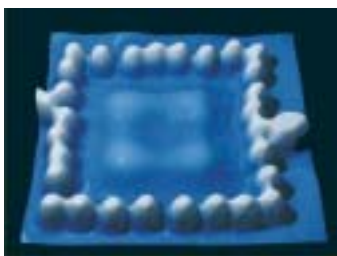
Men även Moores andra lag talar mot en evig tillväxt, eftersom den säger att fabrikerna blir allt dyrare ju mindre strukturer som framställs. Men innan alla dessa inskränkningar kan påverka utvecklingen för gott kommer nanotekniken att få allt mer utrymme inom nanoelektroniken.



Redan i dag har moderna mikroprocessorer (CPU) strukturer på mindre än 100 nm och mer än 100 miljoner transistorer. Om man får tro halvledarindustrins planer, som hittills oftast har överträffats av den faktiska tekniska utvecklingen, kommer vi om några år att ha strukturer på 45 nm (2010), som ger oss fler än en miljard transistorer per chip. Det skulle ge oss användningsmöjligheter som vi bara kan drömma om i dag.



En liten kiselö på en kiselkristall smälter långsamt vid 450 grader. Kunskap om sådana processer är viktig för kvaliteten på tunna skikt.

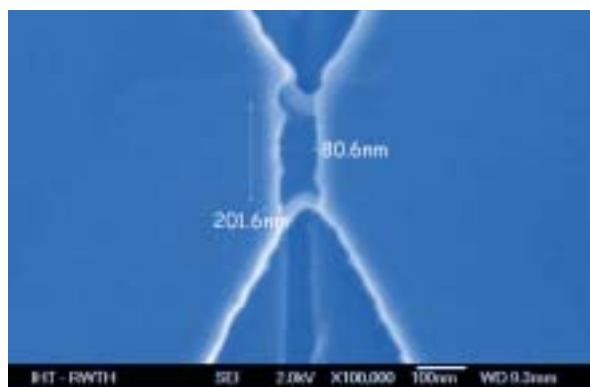


Manganatomer på silver, vid Christian-Albrechts-universitetet i Kiel. Manganatomerna bildar ett staket som stänger inne elektroner. Dessa bildar ett mönster som beror på vilken elektrisk spänning som sätts in. Sådana effekter kommer att vara viktiga för morgondagens elektronik.

PCRAM (Phase Change RAM)

Dagens dataminnen bygger på olika teknik, med olika för- och nackdelar. Magnetisk-mekaniska hårddiskar har mycket stor kapacitet, kan lagra data utan kontinuerlig elförsörjning, men är mycket långsamma. DRAM är snabbt, men utan ständig uppdatering i form av strömpulser "glömmer" det sina data. Flash-minnen, som exempelvis finns i MP3-spelare, mobiltelefoner och kameror, behåller data även utan strömtillförsel, men är inte lika snabba som DRAM, och kan bara skrivas över cirka en miljon gånger. Framtida nanotekniska minneskoncept som i princip endast uppvisar fördelarna med de olika nuvarande minnestyperna (hög kapacitet, snabbhet, förmåga att bevara data utan strömtillförsel och lång livstid) är, ur dagens synvinkel, MRAM (Magnetic Random Access Memory) och PCRAM ("phase-change RAM", s.k. ovoniskt minne), som ska beskrivas nedan.

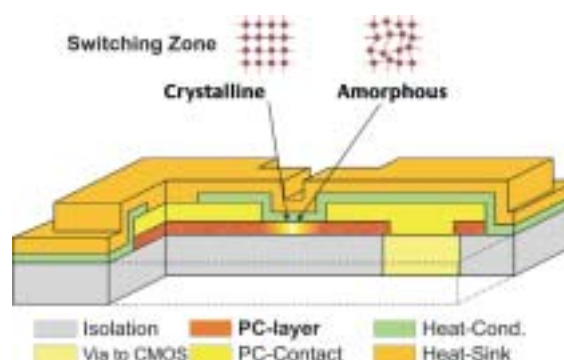
Fasta ämnen kan uppträda i två extrema tillstånd: dels i kristallin form, med strängt ordnade atomer, som träden i en planterad skog, och dels i amorf form, där atomerna inte är ordnade efter något system. Vanliga amorfa fasta kroppar är glas, t.ex. kvartsglas. Men samma ämne, nämligen kiseloxid, finns att få i kristallin form i exempelvis mineralhandeln. Då kallas det bergkristall. Kristallint och amorf är materialtillstånd man kommer att höra talas om oftare framöver, eftersom de förmodligen kommer att präglade framtidens massminne. Vissa fasta kroppar låter sig



mer eller mindre lätt överföras ur det amorfa till det kristallina tillståndet och tillbaka. Denna fasväxling, som oftast uppnås genom värmetillförsel, används flitigt i optiska minnen. När man exempelvis skriver över en omskrivbar dvd ändrar ett särskilt skikt på dvd:n lokalt sin fas från kristallin till amorf genom en värmechock från en laserimpuls.

Därigenom ändras skiktets reflektionsegenskaper på den punkten, så att ett läsbart bitmönster uppstår. Längre och kraftigare laserimpulser gör de amorfa ställena kristallina på nytt, så att dvd:n kan omskrivas. Fasväxlande material kommer sannolikt att få stor utbredning i elektroniska minnen, fasväxlarminnen, Phase Change RAM. Här framkallas fasväxlingen inte optiskt utan elektroniskt. Korta strömpulser gör materialet amorf, med starkt motstånd. Längre impulser gör det åter kristallint, med svagt motstånd. Informationen som lagras på detta sätt kan avläsas om man mäter minneselementens motstånd.

Med Phase Change RAM bör man kunna nå en minnestäthet som gör det möjligt att lagra en terabit på ett frimärke, dvs. tio timmar okomprimerad video av högsta kvalitet. Datorer med denna teknik skulle kunna börja om på den punkt där deras ägare slutade, utan att behöva startas om.



Till höger: Med strömskötter och värmeimpulser av olika längd kan man skifta tillstånd mellan amorf och kristallint i fasväxlande skikt, och skapa bitminnen. Den patenterade konstruktion som Institutet för halvledarteknik vid RWTHAachen har tagit fram möjliggör snabba minnen med låg energiförbrukning.

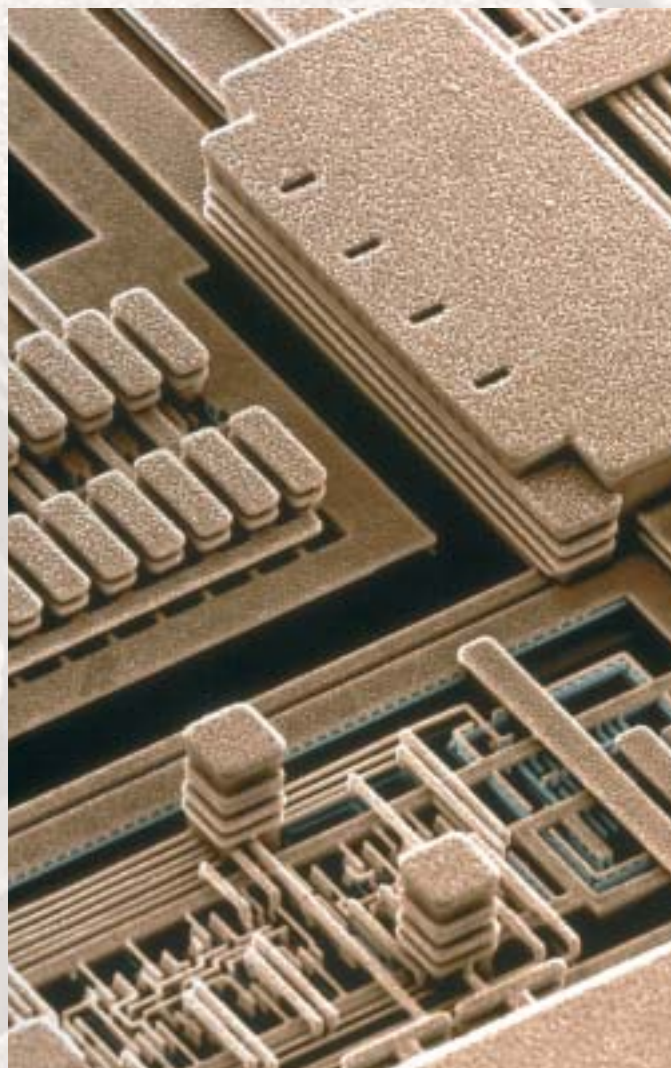
Till vänster: Så här fungerar ett fasväxlingsminne i praktiken.

Världen på nätet: nanoelektronik

Framåt i tre dimensioner – chips växer på höjden

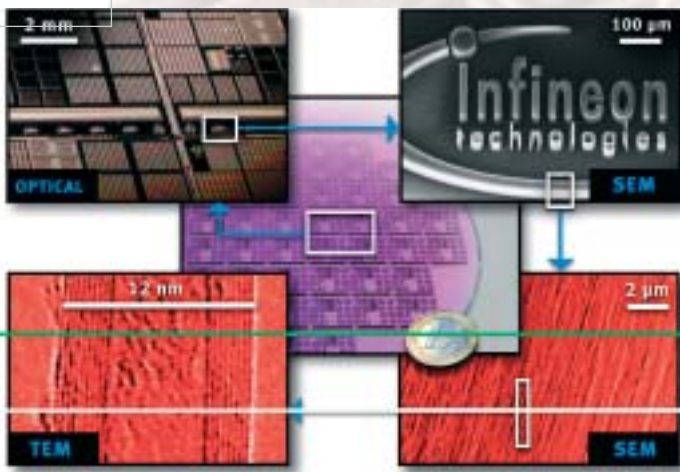
På Manhattans begränsade markyta var skyskrapor den mest ekonomiska lösningen när man ville bygga nya kontor och bostäder. Även chiptillverkarna hade naturligtvis redan tänkt på den tredje dimensionen, men deras försök föll alltid på en rad olika hinder. Nu kanske firman Infineon AG i München har funnit en väg in i den tredje dimensionen.

Där har man nyligen på ett reproducerbart sätt lyckats få kolnanorör (Carbon Nanotubes, CNT) att växa enligt plan på wafers, polerade kiselskivor som utgör mediet för datorchip. Rör av fullerener är förträffliga elledare, producerar knappt någon avfallsvärme och kan användas som mekaniskt hållbara förbindelser (VIA) mellan ett chips olika kopplingsnivåer. På längre sikt tror Infineons forskare att det kommer att bli möjligt att skapa en verklig tredimensionell chipteknik med CNT, inte minst eftersom CNT har så bra värmeledande förmåga att de skulle kunna leda bort värme ur ett tredimensionellt chips inre.



10 μm

Styrd tillväxt hos kolnanorör på definierade punkter på en kiselskiva, med hjälp av en process som är kompatibel med mikroelektronik.



Hypermodern konst: Experimentella strukturer för Spintronik-minnen.

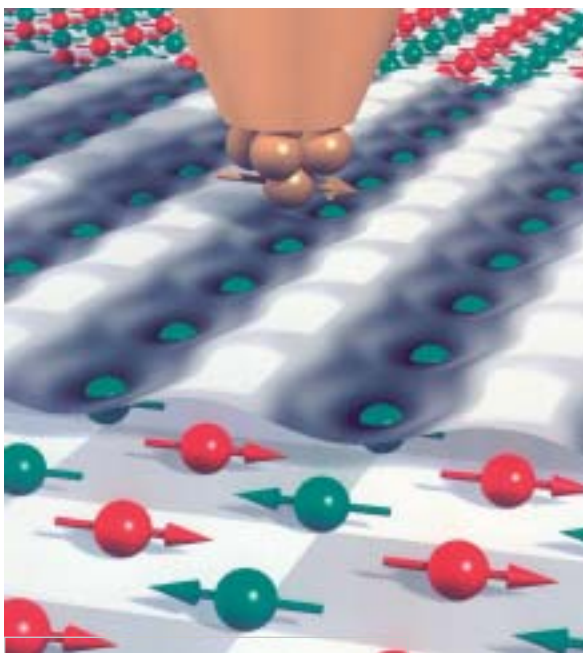




Komplex som en hel stad – kopparledning i ett chip som frilagts genom etsning (IBM), avbildade med svepelektronmikroskop. Moderna chips har upp till 9 kopplingsnivåer.

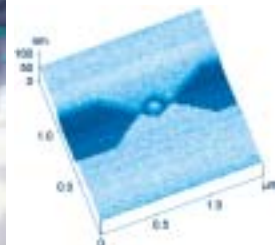


Enstaka organiska molekyler sitter på kisel. Bild tagen med svepspetsmikroskop, Ruhruniversitetet i Bochum.

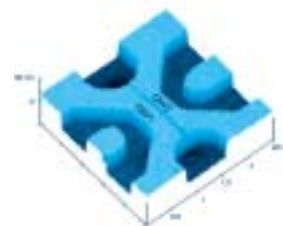


Den magnetiska nälen i ett spinnpolariserat sveptunnelmikroskop läser av de enskilda atomernas magnetiska egenskaper.

Fingerövnningar för kvantdatorn: "Aharonov-Bohm-interferometer", vid Ruhr-universitetet i Bochum strukturerad med ett svepelektronmikroskop.



Tunnelkopplade kvantrådar –elektroner passerar på vägar som skulle vara omöjliga enligt den klassiska teorin. Nanotekniska experiment håller på att komma ikapp teorin.



Spintronik – räkning med snurrande elektroner

En verklig revolution, som skulle kunna innebära att Moores lag fortsätter att gälla mycket länge till, skulle kunna utlösas av spintronikens byggelement, med vilka man förutom elektronens elektriska egenskaper utnyttjar dess magnetiska, dvs. dess spin. Elektronens spin är ett minimalt magnetiskt moment som på ett komplext sätt reagerar med andra magnetiska företeelser, och på så sätt kan användas för elektroniska funktioner. En tillämpning för spintroniken eller magnetoelektronik förekommer redan i vår vardag: nya hårddiskar är redan utrustade med GMR-läshuvuden, som med hjälp av jättemagnetoresistivitet kan upptäcka minimala magnetiska domäner och därmed möjliggöra extremt kompakta minnen.

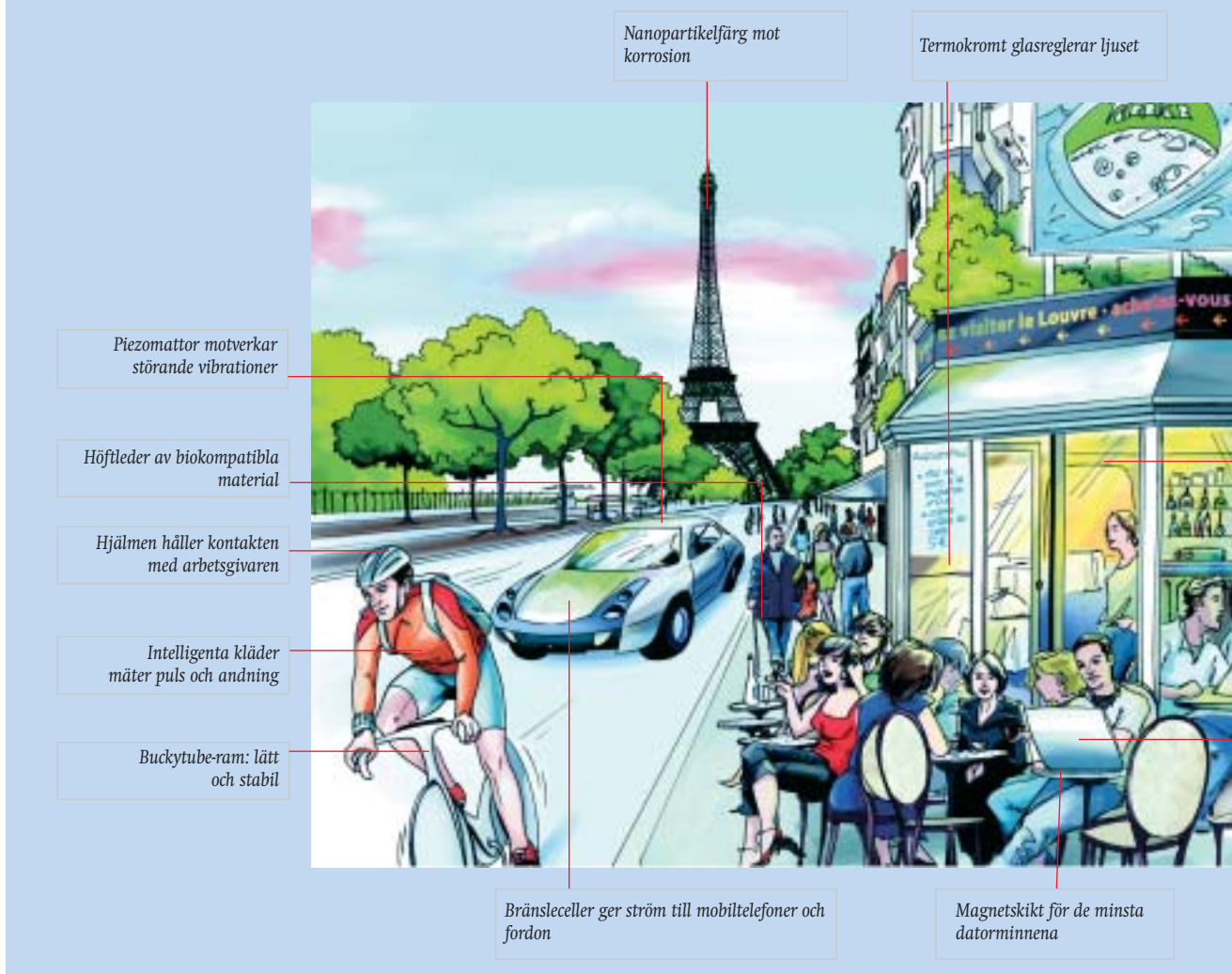
I magnetoresistiva minnen, MRAM, lagras informationen i de magnetiska skiktens spin. Denna utveckling är intressant för icke-flyktiga minnen och kan på längre sikt ersätta de mekaniskt roterande hårddiskarna.

Spintroniken är dessutom på tapeten som teknik för kvantdatorer, till exempel vid universitetet i Würzburg.

Nya effekter för hårddiskar med hög prestanda: Läshuvudet fungerar med jättemagnetoresistivitet, med ett halvledarelement bestående av över tjugo skikt i nanoskala.



Nanoteknik i framtidens vardag



Nanoteknikens intåg i vardagen behöver inte medföra några dramatiska förändringar på ytan. Även i framtiden kommer folk att tycka om att sitta på gatukaféer, kanske ännu mer än i dag. För förbränningsmotorernas dån kommer att ha avlösts av ett stilla surrande och väsande, som när en dörrsluss stängs i Startrecks rymdskepp Enterprise. Stanken av förbränt bränsle har ersatts av tillfälliga, knappt märkbara doftmoln av metanol, som används i bränslecellerna. All service kommer att vara ytterst snabb: det räcker att röra vid den rätt man vill ha på den elektroniska menyn för att köket skall börja tillagningen. Man betalar genom att röra vid eurotecknet i menyns hörn med sitt betalkort. Dricks ger man fortfarande kontant, eftersom det skramlar så trivsamt, men mynten är hygieniskt täckta med antibakteriella nanopartiklar. Kaféets fönster har blivit mycket dyra, eftersom de förenar så många funktioner, men därigenom blir de egentligen också billiga: de är smutsavvisande och repsäkra, de mörknar om det blir för ljukt ute, omvandlar ljus till elström

och lyser vid behov upp som jättebildskärmar. Det är roligt att titta på VM i kaféet, eller utanför, tillsammans med andra människor.

Avancerad nanoteknik gör det möjligt att konstruera otroligt eleganta redskap, som verkliga PDA (Personal Digital Assistants) i kreditkortsstorlek (och ännu mindre, men människans händer måste ha något att hålla i). Det skulle kunna vara en mattsvart monolit utan synliga strukturer, där den svarta färgen samlar solljus och omvandlar det till ström, det skulle kunna vara repsäkert tack vare ett tunt skikt av diamanter, under vilket det skulle kunna ha ett tunnskikt av piezokeramik, som omvandlar ljud till spänning, så att röststyrning blir möjlig. Naturligtvis skulle den också klara dataöverföring med ljus och radiovågor.

Med ett platt objektiv och ett chip för bildomvandling med högsta upplösning skulle den dessutom kunna se, kunde på begäran lysa upp som bildskärm och vore alltså "bandspelare",



Solcellsfolier omvandlar ljus till ström OLED-celler för bildskärmar

Fotoelektrisk film som omvandlar ljus till elektricitet

Lysdioder konkurrerar med glödlampor

Repfria rutor med lotuseffekt

Menykort av elektronisk papp

Nanorör för nya datorbildskärmar

Tyg som behandlats med fläckavvisande skikt



Nanopartiklar från Nanosolutions fluorescerar i UV-ljus, men är i övrigt helt osynliga. Finfördelade i vätskor kan de appliceras med bläckstråleteknik utan att ändra det markerade föremålets konstruktion eller funktion. Nanopigmenten är därför mycket lämpade som skydd mot förfälskningar.



"Fotokromatiskt glas": Glaset ljusgenomsläpplighet styrs med spänning – för framtidens luftkonditionerade kontor.

kamera, videokamera, tv, mobiltelefon och, via GPS, navigationsredskap i ett. På begäran kunde den läsa, översätta och förklara menyn i en restaurang i Paris, och beställa på vänlig och korrekt franska. Efter måltiden skulle den kunna betala notan.

Den skulle naturligtvis känna igen ägarens röst och fingeravtryck, och därför vara skyddad mot missbruk.



Virtuella tangentbord: systemet känner av när någon vidrör de virtuelltangentbordsdelarna, och tolkar det som nedslag.

Nanoteknik för samhället

Rörlighet

Som i andra maskiner kommer nanotekniken att ersätta kvantitet med kvalitet. Den ökade teknikmängden klarar sig med mindre material, och teknik och natur försonas.

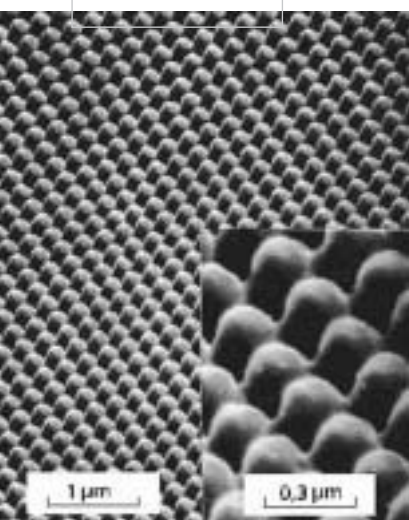
Nanoteknik i bilen

Små noppar, stor djupsyn: Regelbundna mikroskopiska noppstrukturer tar bort störande reflexer på bildskärmar och bilrutor. Nattfjärilens öga tjänar som förebild. Nattfjärilen vill kunna se som bra som möjligt på natten utan att själv bli sedd.

Vindrutor kan göras repsäkra med solgelbeläggningar som innehåller hårda nanopartiklar. De skulle ändå vara helt genomskinliga, eftersom nanopartiklar är för små för att bryta ljus. Principen fungerar redan i glasögon, även om den ännu inte är perfekt. Billacken skulle kunna få lotusbladstruktur så att smutsen rinner av.

För bilens luftkonditionering skulle spänningsreglerade nanopartiklar i vindrutan kunna hjälpa till att reflektera mer eller mindre ljus och värme. Denna teknik, som också skulle kunna användas för kontorsbyggnader, skulle kunna spara mycket energi.

Det ljus som bilen behöver produceras redan i dag till stor del med nanoteknik: ljusdioderna i moderna bromsljus innehåller exempelvis (som alla LED) finessrika, nanotunna skiktssystem som effektivt omvandlar ström till ljus. En ytterligare fördel är att LED omvandlar ström till ljus praktiskt taget omedelbart för människans syn, medan bromsljus med glödlampor behöver lite tid för omvandlingen. Skillnaden kan betyda några meter bromssträcka. I dag är LED så slusstarka att grupper av sådana dioder redan kan ersätta halvljuset. Med nanoteknik skulle billacken till och med kunna fungera som solceller (detta är ännu inte omsatt i praktiken). Strömmen skulle kunna ladda upp batteriet när bilen står parkerad, något som redan görs med konventionella



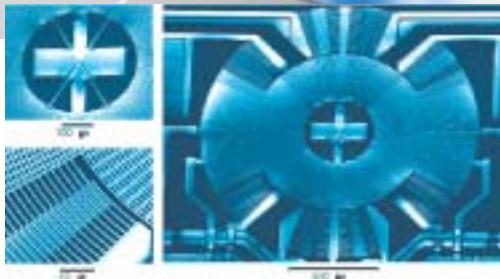
LED i trafikljus sparar underhåll och energi. Inom ett år har de gjort sig betalda.



Dagens elektroniska säkerhetssystem som ABS eller ESP ingriper i kritiska körsituationer; framtida system väjer automatiskt för hinder.



Insprutningsmunstycke för dieselfordon. Framtidens system är utrustade med nanometertunna diamanliknande skikt som skyddar mot slitage.



Jämviktsorgan av kisel: Gyrosensor för fordonstabilisering



Vita LED är numera så ljusstarka att de kommer att kunna användas som ljuskälla i halvljus.

solceller, eller hålla bilen sval inuti med hjälp av en värmepump. Värmepumpen i sin tur skulle kunna vara av ett halvledande nanotekniskt skiktssystem utan rörliga delar. Om man å andra sidan leder den stora mängd spillvärme som uppstår i en förbränningsmotor över en sådan halvledare produceras ström – se även "termoelektrik" i avsnittet "energi och miljö".



Bränsleceller (s. 33) kommer att driva den utsläppsfria bilen. Om man sedan kan framställa vätebränslet ur förnybara energikällor får man ett mycket miljövänligt drivsystem.



Till höger: Elektronik för den räddande smällen: Accelerationssensor till en krockkudde



Doftkapslar i nanoformat ger skinn en stämningsfull lukt.

Guld-katalysatorer

Nanotekniken kan också medföra en ny glansperiod för guld. "Grov" guld är visserligen en mycket sämre katalysator än platina, men guldpartiklar i nanoformat på ett poröst medium ger en användbar katalysator som omvandlar kväveoxider och kolmonoxid till ofarliga ämnen redan vid kallstart. Nanopartiklar av guld är också mycket lovande kandidater för katalysatorer i bränsleceller.

Naturligtvis skulle alla dessa framsteg också medföra fördelar för andra transportmedel än bilen.

Nanoteknik skulle till exempel med stor fördel kunna användas för cyklar. Utrustade med bränsleceller och solceller skulle framtidens cyklar kunna bäras fram av ljus, luft och vatten, lätta som en fjäder tack vare ramar av kolnanofibrer, och med LED-lyse och mycket annat.

Rastplatsurinoar med vandalismsäker mikrosystemteknik. Genom en nanoskalig beläggning med "lotuseffekt" blir underhållet ännu enklare.

Nanopartiklar av guld för nya katalysatorer.

Guld mot dålig lukt

Katalysatorer med guldnanopartiklar testas just nu som luktbekämpningsmedel. I små luftkonditioneringar, exempelvis i bilen, kan de förebygga dålig lukt till följd av bakterieansamlingar. I Japan används de till och med redan i toaletter.

Nanoteknik på rastplatsen

Manliga bilförare stöter i alla fall redan på mikroteknik på dagens rastplatser. Urinoarerna på moderna toaletter har sensorer som reagerar på alla temperaturförändringar och aktiverar spolningen. Energin till detta kommer från en miniturbine som drivs av spolvattnet. Sådana system kan man inte slå ut med ett tuggummi över infrarödsensorn. Nanotekniska urinoarer är ännu enklare och raffinerade: genom lotuseffekten på urinoarens insida pärlar vätskor av, sipprar genom en luktspärrande vätska och försvinner spårlost. Framtida användning får visa hur väl detta fungerar. Sådan teknik är naturligtvis också intressant för privathushållen.



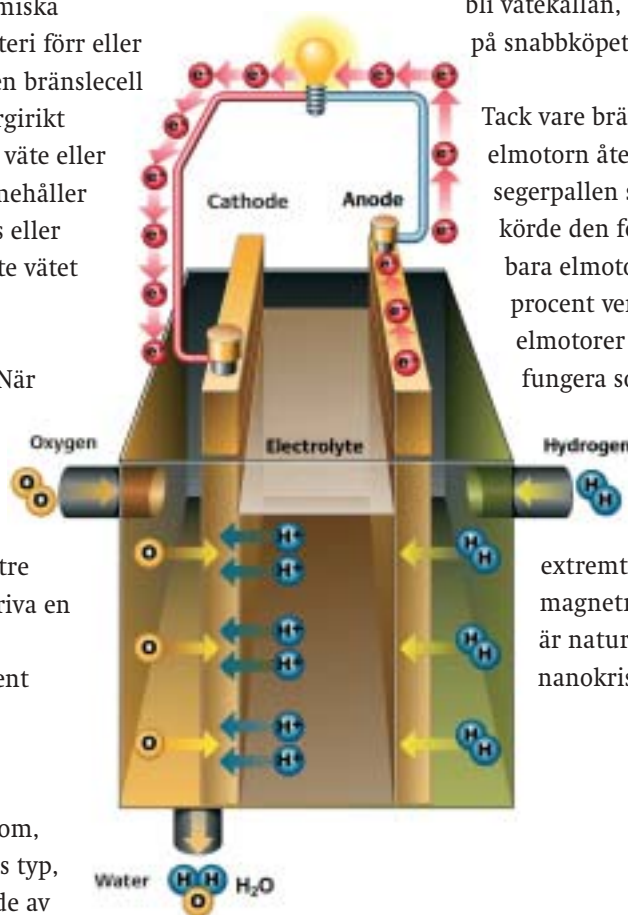
"Nanokuber" från BASF är så porösa att de kan lagra stora mängder väte.

Bränslecellen – ett aggregat med tusen användningsområden

Bränsleceller är som batterier: de ger ström. Men medan den kemiska reaktionen i ett batteri förr eller senare är förbrukad fylls en bränslecell ständigt på med nytt, energirikt bränsle. Det kan vara rent väte eller en gas eller vätska som innehåller väte, till exempel naturgas eller rapsolja. I sådana fall måste vätet avskiljas i en så kallad "reformer", innan det kan användas i bränslecellen. När väte och syre reagerar vandrar elektroner från vätet till syret. I bränslecellen tvingas dessa elektroner in i en yttre strömkrets, som nu kan driva en motor eller liknande. Som reaktionsprodukt bildas rent vatten.

Bränsleceller har en hög verkningsgrad som dessutom, beroende på bränslecellens typ, till stora delar är oberoende av cellens storlek. Bränsleceller tillverkas i många olika varianter. Nanotekniken kan bidra med keramiska folier, nanostrukturerade ytor och katalyserande nanopartiklar. På senare år har mellan 6 och 8 miljarder dollar investerats i bränslecellteknik över hela världen, och det råder inga tvivel om att denna teknik kommer att bära frukt. Dessa tysta elleverantörer kommer att vara små som frimärken eller stora som containrar, och långt ifrån bara användas i bilar. För småförbrukare

skulle en flamsäker metanol- och vattenblandning bli vätekällan, som skulle kunna tankas på snabbköpet.



Tack vare bränslecellen kommer elmotorn åter att kunna ta plats på segerpallen som bästa motor (1881 körde den första elbilen i Paris). Det är bara elmotorer som uppvisar över 90 procent verkningsgrad, och bara elmotorer som samtidigt kan fungera som generator och omvandla rörelseenergi från exempelvis inbromsningar till elektrisk energi. De extremt effektiva magnetmaterialen i nya elmotorer är naturligtvis också nanokristallina.

Bränsleceller kommer också att finnas i hushållen och alstra ström och värme samtidigt.



Hälsa

En frukost med konsekvenser, år 2020:

Finns det kaffe fortfarande? Antagligen, och apelsinjuice? Självklart, men förpackningen kanske är lite speciell: en sorts "elektronisk tunga" smakar av om juicen fortfarande är färsk.



Eller vad sägs om en sensor på utsidan som analyserar svetten från de fingrar som tar i paketet för att se om det föreligger kalkbrist eller andra brister som kan avhjälpas med funktionella livsmedel. Eller vanlig getost: förpackningens OLED-etikett talar om vad som behövs.

Bilden ovan till vänster: Folier med nanopartiklar håller livsmedlen färska längre.

Bilden ovan till höger: Intelligent förpackningar med transponderchip av polymerer.

Badrumsspegeln är full med nanoteknik och kan inte bara spegla utan också svara på frågor: den är lite skeptisk till apelsinjuicen, som ju innehåller socker. Och socker bidrar till karies. Återigen behövs det nanoteknik: I tandkrämen finns (redan i dag) nanokulor av apatit och protein, dvs. det naturliga tandmaterialet, som återger tänderna deras substans (biomineralisering).

Intelligent omgivning – den smarta nanotekniska spegeln undervisar i tandborstning.



Dagkrämen innehåller (redan i dag) nanokulor av zinkoxid som skyddar mot skadlig UV-strålning. Kulorna är osynliga, eftersom de är i nanoformat, så krämen är inte vit utan helt genomskinlig.

Spioner i fingertopparna

Nanoteknik, nanoelektronik, mikrosystemteknik o.dyl. möjliggör avancerade analysredskap som är överkomliga även för privata hushåll. Ett litet stick i fingret kommer att räcka för framtida blodanalyser. Är kolesterolvärdena ok? Är blodsockervärdena normala? Via Internet kan dina värden skickas till närmaste nanomedicinska centrum, där en noggrannare analys genomförs, eller mikroreaktorer sammanställer med hjälp av nanoteknik ett personligt läkemedel åt dig. I kroppen transporteras medicinen sedan av nanopartiklar med en beläggning som gör att de först fastnar vid sjukdomshärden. Precisionsbehandling av åkommor. Den personlige läkaren har allt under kontroll.

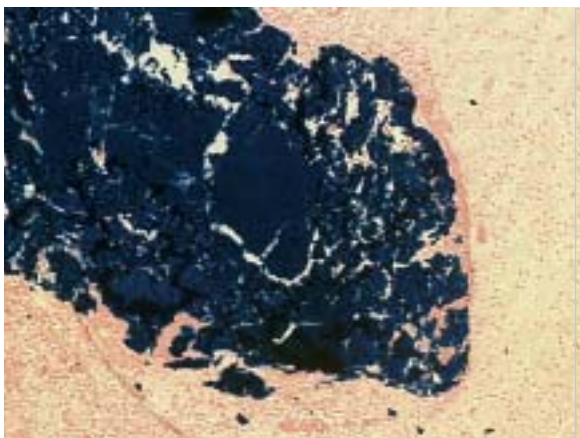


Morgondagens diagnostik. De allt mer komplicerade metoderna förblir överkomliga tack vare nanotekniken.

Supramolekylära läkemedelskapslar

Läkemedlen skulle sedan också kunna vara ytterst raffinerade. De skulle kunna gömmas i supramolekylära ihåliga molekyler (som håller på att utvecklas), dvs. transportbehållare i nanoformat med antenner vid vilka det sitter känselproteiner som liknar antikroppar. Om dessa kommer i beröring med strukturer som är typiska för det som vållar sjukdomen, till exempel cancercellers höljen, eller bakterier, hakar de sig fast och skickar en signal till den ihåliga molekylen, som då öppnas och släpper ut sitt innehåll. Med sådan nanoteknik skulle man kunna föra in höga doser av ett läkemedel till sjukdomshärden utan att belasta resten av organismen.

nå hjärntumörer. Denna så kallade magnet-vätskehypertermi har utvecklats av en arbetsgrupp kring biologen Andreas Jordan. För närvarande pågår de kliniska försöken.



Cancer celler i en glioblastom-hjärntumör harproppat i sig särskilda, magnetitäckta nanopartiklar ända till gränsen till frisk vävnad. När partiklarna sedan värms i ett elektromagnetiskt fält blir tumören mottaglig för kompletterande åtgärder. Denna teknik kommer att godkännas medicinskt redan under 2005.

Magnetpartiklar för cancerterapi

Med sådana trick kan man också skicka magnetiska nanopartiklar till cancertumörer, och sedan värma dem med ett elektromagnetiskt växelfält som förstör tumören. Nanopartiklar kan också ta sig förbi det filtersystem som kallas blod-hjärnbarriären, och kan därför också

Ett klädska på ett chip

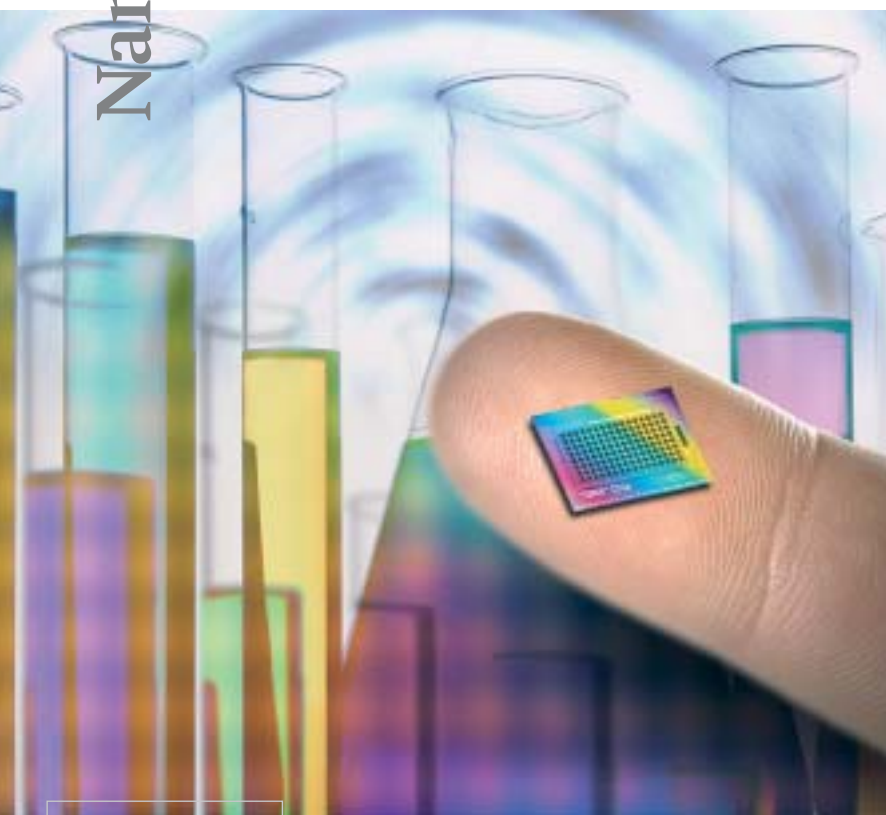
Mikrosystemteknik och nanoteknik – gränserna är diffusa – kommer att bli lönsamma inom den medicinska sektorn redan för att de förminskar känd teknik och gör den billigare, ibland hundratusentals gånger eller mer. Det kommer till exempel att gälla för avancerade

Hälsa

Utgående från nanofint pulver kan man bränna praktiskt taget perfekta, tillförlitliga keramikelement, till exempel till implantat (sintring).



maskiner som kan testa miljontals celler, till exempel blodceller, med en hastighet av tusentals per sekund, för att hitta vissa egenskaper och sortera ut levande celler. Det kan fungera på följande sätt: Antikroppar tillsätts blodet, som sedan fastnar på de celler som man är intresserad av, men bara på dessa. Samtidigt är antikropparna försedda med ett färgämne som lyser upp, fluorescerar, i ljuset av en laser.



Liten men kaxig: "Laboratorium på ett chip" är ett laboratorium som får plats på fingertoppen.

De berörda cellerna innesluts i droppar och förs sedan i cellsorteringsmaskinen förbi en sådan laser. Om en fluorescerande signal lyser upp styrs droppen, och därmed cellen, av elektriska fält till en särskild behållare. Tekniken påminner lite om en bläckstråleskrivare. Cellsorterare är ytterst komplicerade maskiner, som bygger på en samverkan av mikromekanik, optik och avancerad elektronik. Därför är de också mycket dyra.

Genom nanoteknik kan sådana maskiner, som i dag är stora som klädsåp, minskas ned till ett frimärkes storlek och delvis bli engångsvara. Detta kommer att driva på den medicinska utvecklingen enormt.

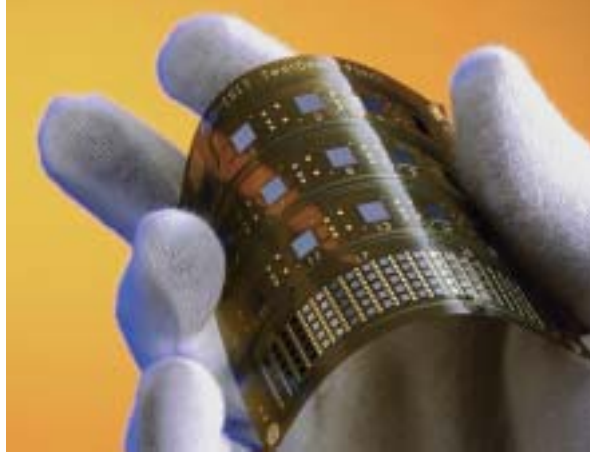
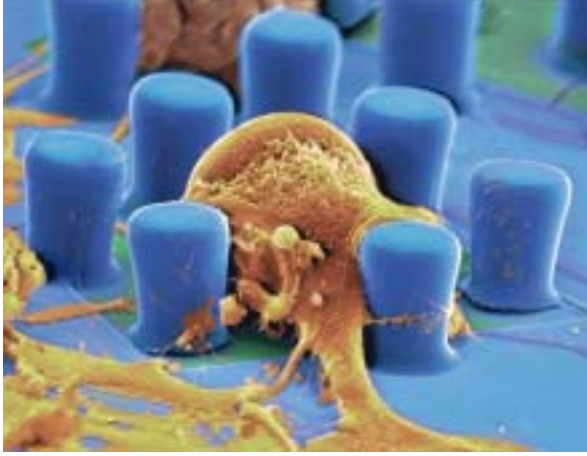
För ett s.k. "laboratorium på ett chip" behövs ännu mer komplicerad nanoteknik. I ett sådant labb skulle, enligt ledande nanotekniker, miljontals nanoapparater rymmas, och samarbeta för en gemensam uppgift. Ett sådant chip skulle vara ungefär en kvadratcentimeter stort, jättelikt i jämförelse med de nanoapparater som ryms på det. Detta beror på att vätskor måste kunna flyta i ett sådant labb, och dessa vätskor är trögflytande som honung i nanokosmos. De behöver därför mer plats för att inte fastna. Laboratorier på ett chip kommer att revolutionera den biologiska forskningen och i framtiden göra det möjligt att i enskilda celler iaktta vad som händer i realtid. På så sätt skulle man kunna få en sorts videofilm av livsprocesserna. Man skulle inte heller behöva nöja sig med att iaktta cellen, utan skulle kunna påverka den och se hur den reagerar, och därmed kanske lösa livets gåta.



Retinaimplantat.

Neurologiska proteser

Just nu testas en mycket avancerad tillämpning för mikrosystemteknik och nanoteknik: ett retinaimplantat med inlärningsförmåga. Det skall återge en del av synförmågan åt personer som lider av retinitis pigmentosa och därför blivit blinda. Systemet består av en liten kamera i glasögonbågarna, som skickar bilder av omgivningen till en särskild



Bilden till höger:
Tunna kiselchip
på flexibelt medium
t.ex. för smarta etiketter
som kan användas i
livsmedelsförpackningar
och kläder.

Bilden till vänster:
Nervceller kopplas till
elektriska kontakter.

signalprocessor, med inlärningsförmåga. Processorn överför bilduppgifterna trådlöst till det sjuka ögats inre. Där finns en flexibel folie med miniatyrelektroder, som ligger an mot näthinnan och stimulerar denna med elektroderna. Om denna utveckling lyckas har man fått fram världens första gränssnitt mellan människa och maskin som fungerar för synsinnet. Många hörselskadade kan redan sedan länge få hjälp av ett cochleaimplantat. Med hjälp av nanotekniken kommer sådana proteser ständigt att förbättras.

Hemvård

Bättre kosthållning och allt effektivare mediciner gör att människorna når allt högre åldrar. Denna egentligen mycket positiva utveckling har en naturlig nackdel i att allt fler människor blir beroende av hjälp. Men i framtiden kommer de delvis att kunna få hjälp av nanoelektroniken: man förutser exempelvis sensorer och datorer som är inbyggda i kläderna och som ständigt övervakar en persons hälsotillstånd – puls, andning, ämnesomsättning. Om någon störning

inträder larmar plagget automatiskt en läkare eller de anhöriga. Genom en GPS- eller Galileo-modul som också är inbyggd i kläderna (Galileo är den framtida europeiska varianten av GPS) kan man se var personen befinner sig.

Automatisk sjukvårdare

Vårt lite gammaldags traditionella Europa ställer sig fortfarande lite skeptiskt till maskiner som hemhjälp, men i Japan kommer fritt rörliga robotar snart att massproduceras i industriell skala. Det är mycket möjligt att de kan utvecklas till sjukvårdare som kan fungera i praktiken: det är i alla fall något man arbetar på. Robotiken kommer lätt att kunna absorbera nanoelektronikens snabbt ökande datorkapacitet i stor omfattning.



Robotar med medkänsla
från Oxford University.
Att valla ankor fungerar
redan, men automatiska
sjukvårdare behöver
kunna mer.



Smarta kläder: Integrerad
elektronik spelar MP3-musik,
visar vägen genom stan och
övervakar pulsen: fördelar in
på bara kroppen.

För förnybar energi är nanoteknik en drömkandidat.

I motsats till teknikens utveckling hittills kan nanoteknik ge ekonomisk tillväxt med mindre materialförbrukning.

Nanonäringsliv: ökad bekvämlighet med mindre resurssatsning.

I Europa används cirka 10 procent av all producerad el till belysning. LED, dvs. ljusemitterande dioder, som i dag även finns i vitt, kan ersätta den nuvarande tekniken och därmed spara stora mängder energi. LED förbrukar nämligen bara 50 procent av vad en vanlig glödlampa behöver för samma ljusmängd. Det tyska miljöministeriet har räknat fram att man inom belysningssektorn skulle

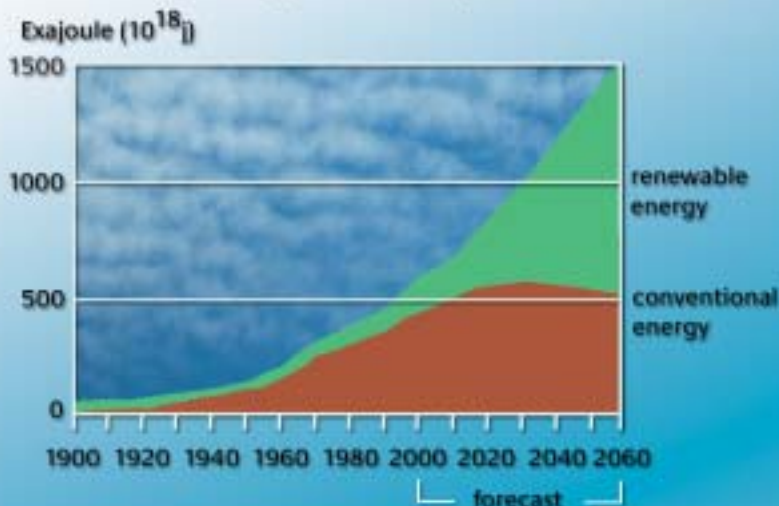
LED: revolutionär
effektbesparing Prognos
från Shell AG.

kunna spara upp till 77 procent. I de europeiska hushållen står miljontals tv-apparater med bildrör och väntar på att bytas ut mot nya apparater med LCD-teknik, och längre fram kanske till och med OLED-teknik. Båda teknikerna skulle kunna minska apparaternas energiförbrukning med 90 procent. LED och OLED framställs med nanoteknik.

Om miljontals hushåll sparar kilowatt blir det gigawatt, dvs. elmängder som det behövs flera storkraftverk för att producera. Bränslecellers effekt kan snabbt ställas om. I dag finns det redan naturgasvärmepannor för privathushållen som fungerar med bränsleceller, och som beroende på inställning kan leverera både el och värme. Om miljoner hushåll utrustas med sådana kan de kopplas ihop via elnätet och Internet så att de blir till virtuella storkraftverk med en teoretisk maximikapacitet på 100 gigawatt. På lång sikt kan naturgasen ersättas med väte från förnybara källor. Nanotekniken levererar nya material och katalysatorer till detta.

Keramiska membran med porer i nanoformat spelar en allt större roll i reningen av vätskor, bland annat för att garantera rent dricksvatten. Sådana filter filtrerar helt enkelt bort bakterier och virus.

World energy consumption





Med hjälp av nanoteknik kan solenergin bli lönsam. Sammansatta halvledare av indium, gallium och kväve uppvisar egenskaper som skulle kunna ge solceller med en verkningsgrad på över 50 procent. Men verkningsgraden är bara ett av många kriterier.

Nanoteknik kommer också att leda till drastiskt billigare ljusfångare, oberoende av om man använder tunnskiktsteknik eller partikelteknik. Företaget Solarion i Leipzig har tagit fram labbexemplar av solcellsfolier med liknande teknik som används för beläggningen i LED och OLED, och som producerar 100 Watt effekt per 30 gram massa. Det innebär en radikal dematerialisering av energiutvinningen.

Siemens forskare påstår sig nå en verkningsgrad på fem procent med sina nyaste organiska solceller som kan tryckas på folie och kommer att vara extremt billiga.

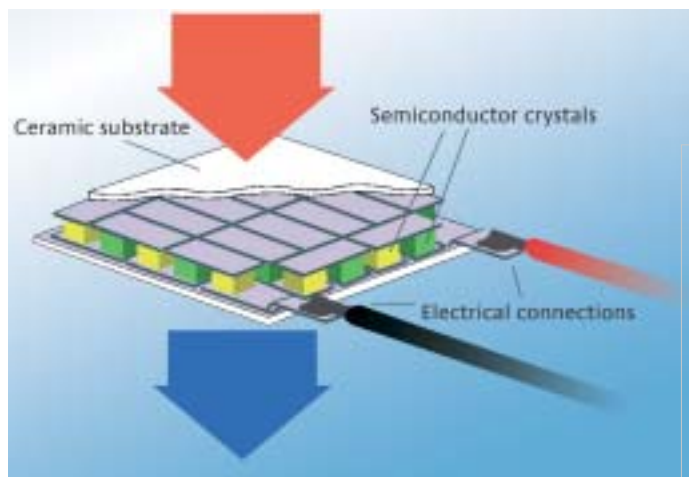
Det fotoaktiva skiktet är endast 100 nanometer tjockt, och redan i dag uppnås en livslängd på flera tusen soltimmar. De första produkterna av denna typ väntas komma ut på marknaden under 2005.

Ett brett spektrum: Glasfasad på en hall i hotell Weggis vid Luzernsjön strålar vackert i alla regnbågens färger, med hjälp av 84 000 LED från Osram.

OLED, organiska LED, kommer att ingå i många av framtidens bildskärmar.



Energi och miljö



Konventionell termoelektrisk modul: en värmeström omvandlas av halvledarblock till elektrisk ström. Tack vare nanostrukturer blir tekniken högeffektiv, vilket ger nya marknadsmöjligheter..



Genom nanoteknik kan man blåsa liv i många gamla idéer som tidigare inte kunde förverkligas på grund av att de tillgängliga materialen inte var tillräckligt effektiva.

Ett exempel är den termoelektriska elproduktionen: el från värme, värme från el – termoelektricitet

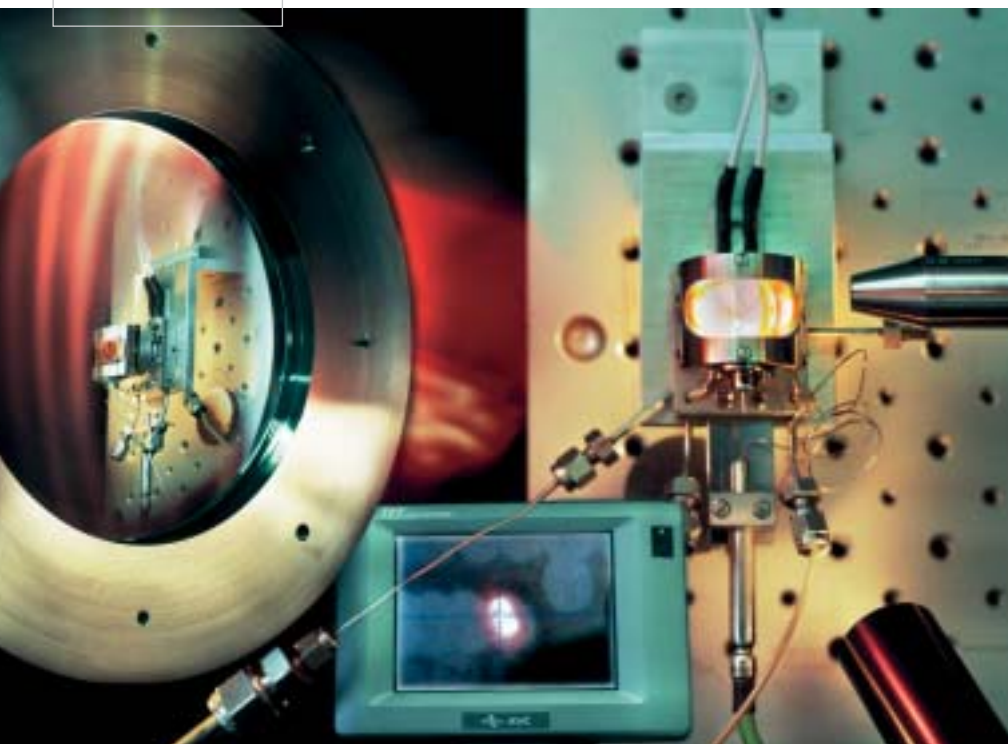
Det finns ett stort antal välkända, fysikaliska effekter, som gemene man knappt lägger märke till, och som inte gör några större avtryck på marknaden. Ett bra exempel är kylväskan som ansluts till elsystemet i en bil och som därefter kylväskan inre döljer sig resultaten av den franske vetenskapsmannen Jean-Charles-

Athanasie Peltiers upptäckter. 1834 upptäckte denne att ett strömflöde genom kontaktpunkten för två olika metaller alstrar värme på ena sidan och kyla på andra sidan. Fenomenet uppkallades efter honom. Tretton år tidigare hade tysken Thomas Johann Seebeck upptäckt den omvända effekten, dvs. att ett värme flöde som går genom kontaktpunkten för två

olika metaller alstrar ström. Tack vare nanotekniken har dessa två vetenskapsmän nyligen uppmärksamats, eftersom det nu uppstår nya nanoteknologiska material, som äntligen kombinerar de bägge fysikaliska fenomenen med mycket höga verkningsgrader.

Materialen tillverkas av maskiner som framställer LED-dioder. På ett skikt som mäter en nanometer och som består av vismut-tellurid kan dessa maskiner lägga ett antimon-telluridskikt som är fem nanometer tjockt. Detta upprepas tills en halvledarfilm bildats, som hade imponerat på Peltier och Seebeck: genom

Kemisk mikroreaktionsteknik för effektiv tillverkning även av exotiska ämnen.





Aixtron-reaktorer för forskningsändamål (till vänster) och för tillverkning med atomprecision av tunna skikt av föreningshalvledare (till höger).

filmen leds ström varvid ena sidan blir varm och den andra kall. Filmens struktur kan byggas upp så fint att den kan användas för exakt kylning av chips eller för att styra oerhört små reaktionskärn i ett laboratorium på ett chip där DNA förökas med hjälp av snabba temperaturväxlingar.

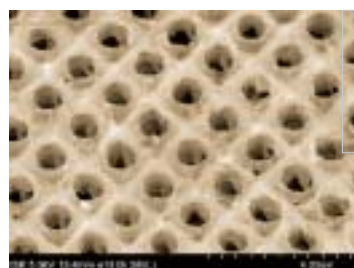
Det är mycket möjligt att den kraftigt ökade verkningsgraden hos Peltierelement gör att hela kylindustrin kommer att använda sig av dem. Även det omvända förhållandet råder, dvs. den som har tillgång till billiga värmekällor som jordvärme, kan på ett prisvärt sätt producera ström med sådana termoelektriska skikt. Island skulle kunna bli energimagnat i kraft av vätet som bildas på elektrolytisk väg. I kemiindustrin kan den typen av teknikslag göra att enorma mängder spillvärme omvandlas till el – ljudlöst, i princip osynligt och effektivt. Nanotekniskt med andra ord.

Solcellsteknik

Termoelektricitet är inte den enda möjligheten att på ett elegant sätt omvandla spillvärme till ström. Solcellstekniken använder sig av den (osynliga) värmestrålningen, infraröd strålning, från heta föremål. Nanotekniken återfinns i sändarnas struktur, som anpassar värmekällans struktur till termofotovoltaikelellernas spektrala känslighet.



Det räcker med ett stearinljus för att solcellerna skall kunna driva en radio.



Wolfram-sändare med nanostrukturerad yta för anpassning av det infraröda spektrumet.

Nanoteknik för sport och fritid

Den ständiga finslipningen av tekniken, som nu har nått ner på nanonivån, gör att gamla idéer som tidigare inte kunde förverkligas i många fall kan återuppväckas. Ett exempel är idén om att kunna flyga med hjälp av solljus.

Icaré II, ett segelflygplan som drivs av solljus, som är lika tåligt som ett vanligt segelflygplan och som kan starta för egen maskin.

Översta bilden: Efter en inofficiell rekordflygning från Stuttgart till Jena.

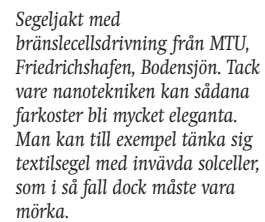
I juni 1979 tog sig Bryan Allen med hjälp av Gossamer Albatros och ren pedalkraft genom luften över Engelska kanalen och vann Cremerpriset på 100 000 pund. Tack vare nya material kunde Paul MacCready bygga Gossamer Albatros i fjäderlätt utförande. Även 1981 genomfördes en lyckad långflygning med solkraft, men farkosten Solar Challenger var oerhört bräcklig.

I början av 1990-talet anordnade staden Ulm en tävling om vem som kunde utveckla ett funktionsdugligt soldrivet flygplan. Tävlingen hölls till minne av stadens misslyckade flygpionjär Albrecht Ludwig Berblinger ("Skräddaren från Ulm"). I juli 1996 korades motorseglaren Icaré 2 från Stuttgarts universitet till överlägsen segrare.

NASA har utvecklat det soldrivna experimentflygplanet HELIOS som dagtid drivs av solljuset och som nattetid hålls uppe av ett uppladdningsbart bränslecellsaggregat. Högsta uppnådda höjd: nästan 30 kilometer.

Under 2003 sammanstrålade i Schweiz experter inom områdena termodynamik, aerodynamik, elektriska system, kompositmaterial, solceller, energiomvandling och datorsimuleringar. Nanoteknik ingår i nästan samtliga dessa områden. Syftet med expertmötet var att diskutera ett projekt som skall ge luft under vingarna åt nya teknikslag för en miljövänlig framtid. Och här kan man prata om luft under vingarna i ordets rätta bemärkelse, eftersom projektet skall leda till att Bertrand Piccard och Brian Jones, som 1999 flög jorden runt i en ballong, gör om den bedriften 2009. Den här gången skall det ske i ett flygplan som bara drivs av solenergi – och utan mellanlandningar!





Designstudie från företaget Fuseproject: en bränslecell driver scootern ljudlöst.

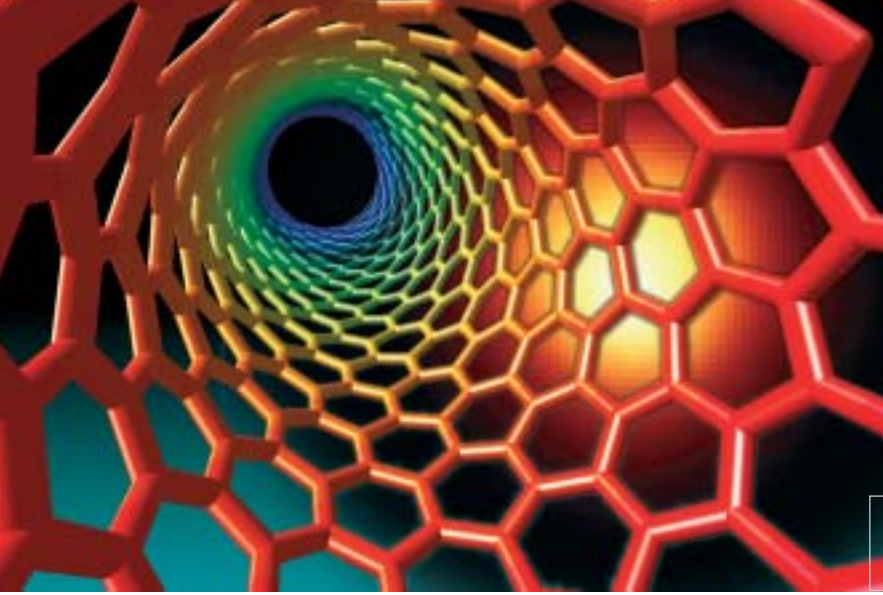
Utvecklingen av eldrivna mindre fordon forceras på många ställen för att rädda de städer i områden som kännetecknas av snabb industrialisering från att drunkna i avgaser.



Den soldrivna katamaranen från Kopf Solar design GmbH används i och omkring Hamburg.



Visioner



Nanorör med jättestjärnan Betelgeuse, i vars atmosfär fullerener förekommer.

”Fingergata”

Med nanoteknik kan till och med utopiska transportsystem bli möjliga, till exempel ”fingergatan”. Den dagen funktionsdugliga konstgjorda muskler finns att tillgå – försök pågår redan – kan man tänka sig en gata som är försedd med delar som det går att vinka med (dvs. fingrar) som kan transportera föremål som befinner sig på gatan. Det hela liknar flimmerhåren som transporter bort smuts från lungorna eller förflyttar toffeldjur.

Idén kan omvandlas på många sätt: för närvarande finns det allvarliga funderingar på ytterst små linjära motorer som drivs enligt den här principen, och som arbetar med växtmuskler eller ”forisomer”.

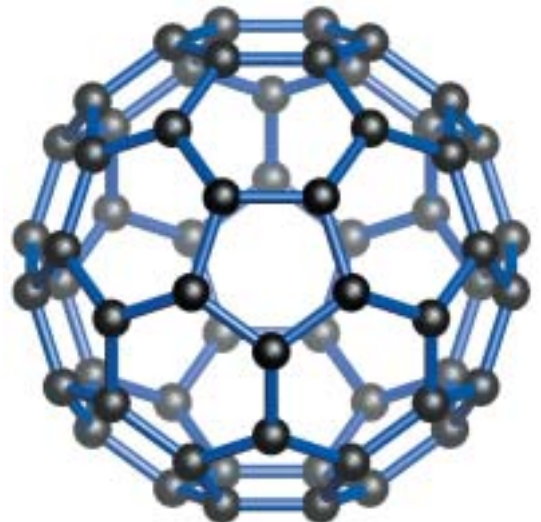
Konstgjorda muskler kan även skapas av vävnad av nanorör av kol. Och idén är egentligen inte så otrolig som den hiss som skulle leda ut i planetsystemet, som NASA på fullaste allvar undersökte. Ursprungligen var det dock en rysk pionjär inom rymdfarten, Konstantin Eduardovitj Tsiolkovsky, som först övervägde idén.

Konstantin Eduardovitj Tsiolkovsky.



Nanorör av kol avsedda för hissen i omloppsbanan

Receptet kom från världsrymden. Runt gamla stjärnor, som Betelgeuse, som är en röd jättestjärna, virvlar ett otal element runt i enorma dammoln. När dessa reagerar kemiskt med varandra, bildas bland annat nanokristaller av kiselkarbid, kiseloxid, korund, ja, till och med diamant. Detta har man kommit fram till efter undersökningar av meteoriter, som skapats ur sådant damm. För att få veta mer om processen återskapade vetenskapsmän förhållandena i ett laboratorium, vilket ledde till att man 1985 kom ett hittills okänt ämne på spåren. Ämnet visade sig vara en ny typ av kolsammansättning: en ihålig molekyl som till formen är mycket lik en fotboll. Vidare efterforskningar i rymden visade att molekylen också skapas i det stoffmoln som omger stjärnorna.



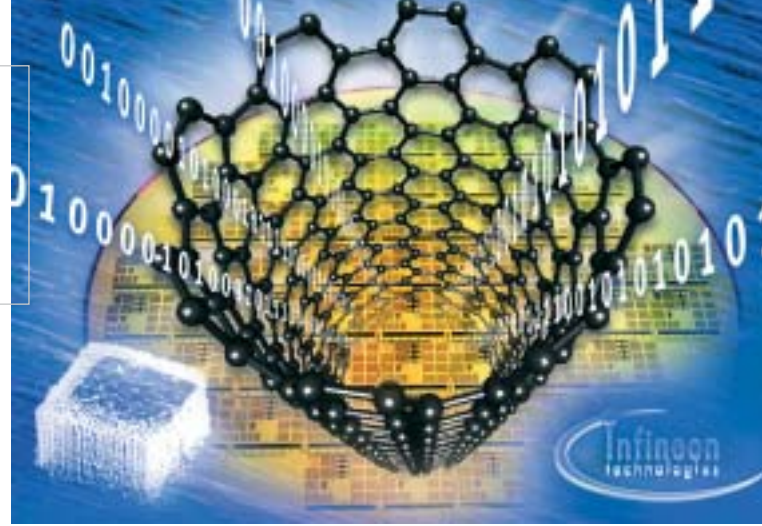
Till fullerenen, som är hålrum av kolnät, knyts stora förhoppningar i samband med letandet efter exotiska material



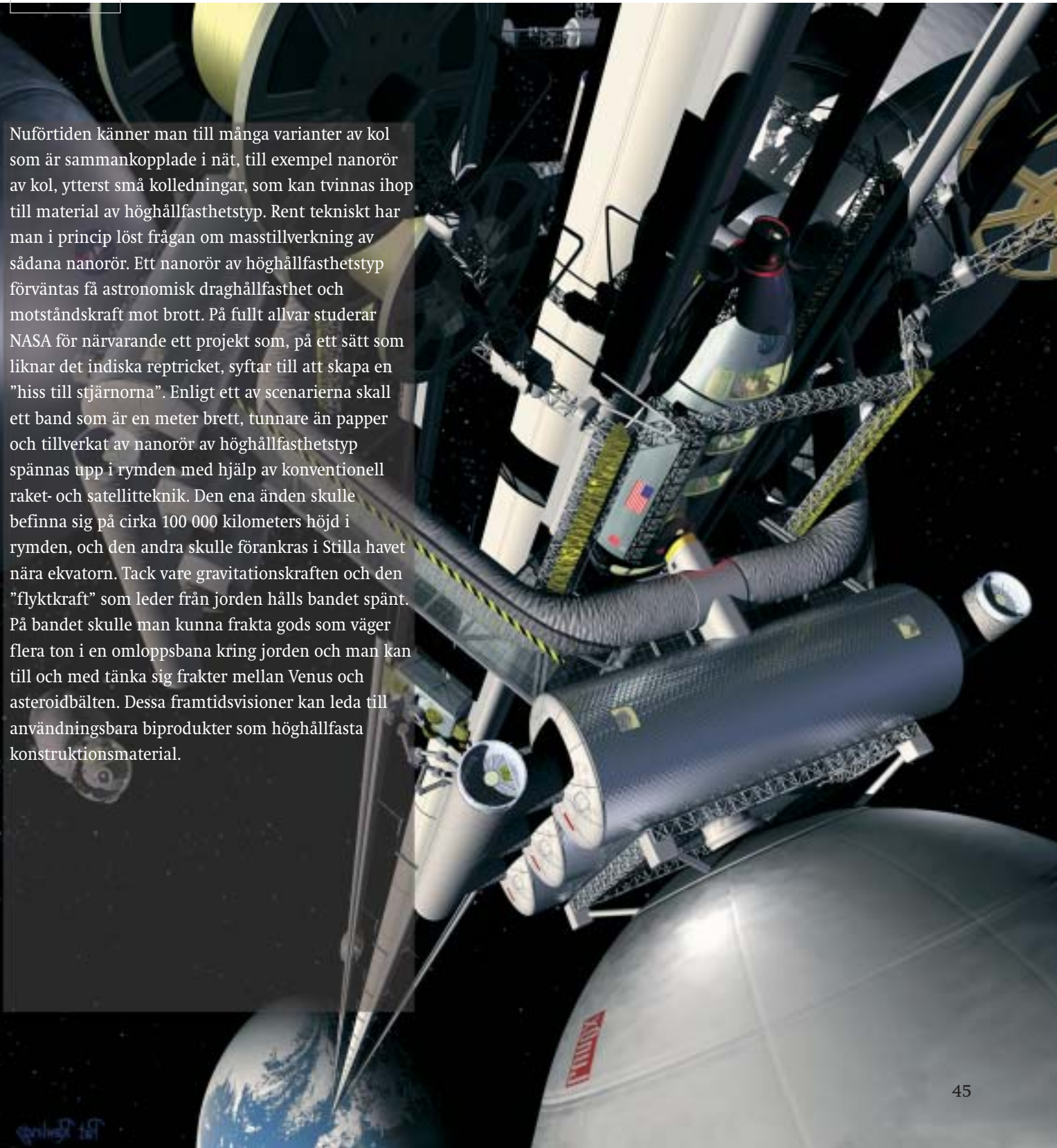
Jättemolekyler
som
matematikexpert
er: nanorör kan
bli underlaget
för
högpresterande
chips i
framtiden.

Robert Curl, med fullerener på
fingrarna, som ledde
fram till Nobelpris.

Vision: hiss till
planeterna.



Nuförtiden känner man till många varianter av kol som är sammankopplade i nät, till exempel nanorör av kol, ytterst små kolledningar, som kan tvinnas ihop till material av höghållfasthetstyp. Rent tekniskt har man i princip löst frågan om masstillverkning av sådana nanorör. Ett nanorör av höghållfasthetstyp förväntas få astronomisk draghållfasthet och motståndskraft mot brott. På fullt allvar studerar NASA för närvarande ett projekt som, på ett sätt som liknar det indiska reptricket, syftar till att skapa en "hiss till stjärnorna". Enligt ett av scenarierna skall ett band som är en meter brett, tunnare än papper och tillverkat av nanorör av höghållfasthetstyp spännas upp i rymden med hjälp av konventionell raket- och satellitteknik. Den ena änden skulle befinna sig på cirka 100 000 kilometers höjd i rymden, och den andra skulle förankras i Stilla havet nära ekvatorn. Tack vare gravitationskraften och den "flyktkraft" som leder från jorden hålls bandet spänt. På bandet skulle man kunna frakta gods som väger flera ton i en omloppsbana kring jorden och man kan till och med tänka sig frakter mellan Venus och asteroidbälten. Dessa framtidsvisioner kan leda till användningsbara biprodukter som höghållfasta konstruktionsmaterial.



Möjligheter och risker

Nanotekniken innebär utan tvivel stora möjligheter att få fram goda resultat, eller åtminstone vinstgivande. Tack vare de innovationer på många användningsområden som nanotekniken kan leda till, anser många att den har stor ekonomisk potential. Bara i Europa finns det redan många hundra företag som sysslar med kommersiell användning av nanotekniken och som erbjuder tiotusentals anställda sysselsättning som i de flesta fall är högkvalificerad. Forskarna och företagen är överens om en sak: nanotekniken är mer än en ny övergående trend.

För bra för att vara sant? En superkoloni som åtminstone är teoretiskt möjlig har redan gjort sitt intåg i litteraturen: I Michael Crichtons bästsäljare "Prey" strålar svärmar av smarta nanopartiklar samman och bildar halvintelligenta väsen, som dödar sina skapare för att kunna nästla sig in i dem.

I en annan dyster vision, som är signerad Eric Drexler -

en amerikansk profet på nanoområdet - hotas världen av en grå sörja eller "Gray Goo", som är ett grått moln av felprogrammerade nanoroboter.

Drexler anser att det är möjligt att bygga robotar i nanostorlek, som skulle vara några miljondels

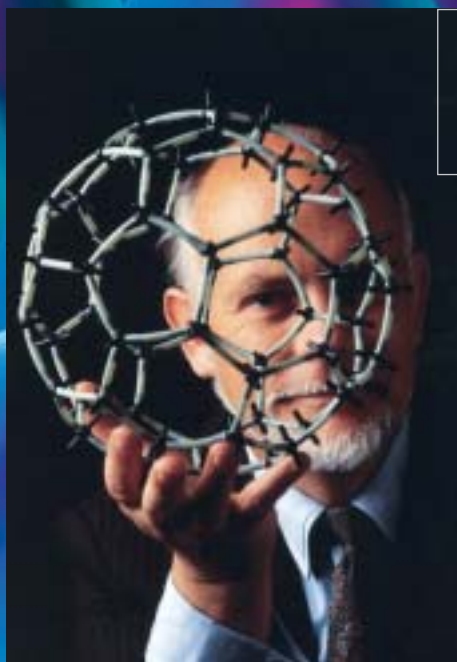
millimeter stora och som skulle kunna programmeras att bygga något storartat och nyskapande av råmaterial. Men om processen skulle ta egna vägar och inte gå att kontrollera, skulle det istället för något storartat bildas just den där grå sörjan, som skulle kunna vara farlig både för människor och maskiner.

De flesta fackmänniskor på området är dock skeptiska till konceptet. Richard Smalley, som fick Nobelpriset i kemi 1996, anser att egenskaperna hos kemiska bindningar omöjliggör det hela, eftersom inte alla atomer eller alla molekyler kan bilda föreningar.

Beroende på problemet med feta fingrar är Eric Drexlers Gray Goo-scenario lika osannolikt som att världen skulle förvandlas till gelebjörnar.



Redan därför är nanoroboter, dvs. en robot i nanostorlek, inte tänkbara. Men, vilket inte är minst viktigt, om en sådan nanorobot skulle foga samman atom för atom, skulle den vara tvungen att göra det med "fingrar", som också består av atomer och som måste ha en minsta tjocklek. Dessutom handlar det inte bara om att kunna gripa tag i den utvalda atomen, vid sammanfogningen måste man kunna kontrollera alla atomer i en kubiknanometer, och då skulle fingrarna vara i vägen. Så långt problemet med fingrar som är för feta. Till det kommer problemet



Nobelpristagaren i kemi, Richard Smalley, anser i likhet med de flesta vetenskapsmän att riskerna med nanotekniken är hanterbara.

med klibbiga fingrar. Atomerna skulle, beroende på vilken sorts atomer det handlar om, inte vara lätta att gripa tag i och man skulle ideligen vara tvungen att stryka av dem från fingrarna, dvs. de skulle bindas till varandra.

Det hela illustrerar ett bekant vardagsproblem: det är inte så enkelt att bli av med en liten klabbig kula som fastnat på fingrarna. Och där skulle det röra sig om principiella invändningar, som det inte går att komma förbi. Mekaniska nanorobotar kan följaktligen aldrig bli verklighet. Richard Smalley kommer att få rätt. Rädslan för att arméer av felprogrammerade nanomaskiner skall svepa över världen och förvandla den till ett grått moln, är ogrundat. Då finns det större anledning att oroa sig för att nanopartiklar kan få oönskade verkningar på människor och miljö.

På grund av att de är så ytterst små att de till och med kan tränga sig in kroppens celler och ta sig igenom biologiska barriärer (t.ex. blod-hjärn-barriären), kan de skada människors hälsa.

Eftersom nanopartiklar - i likhet med annat ultrafint damm, t.ex. dieselsot i avgaser från fordon - är ämnen som kan ge okända biverkningar, måste det ske vetenskapliga undersökningar av sådana partiklar för att fastställa deras eventuella skadeverkningar. För närvarande är kunskaperna bristfälliga om nanopartiklarnas säkerhet, vilket innebär att de

frågor som saknar svar måste lösas så snart som möjligt genom experiment som utförs av nanoforskare och toxikologer.

Riskerna verkar dock möjliga att behärska eftersom nanopartiklar som finns i naturen är extremt "klibbiga". Tack vare klibbigheten klumpar partiklarna mycket snabbt ihop sig till större formationer som kroppen utan problem klarar av. Dessutom vet man att många nanopartiklar inte är hälsofarliga och därför används de i solkrämer som solskyddsfaktor eller blandas i fast form in i ett material så att konsumenterna inte kommer i kontakt med enskilda nanopartiklar. Branschen anstränger sig också, genom väl avpassade säkerhetsåtgärder, att undanröja samtliga hälsorisker för både kunder och medarbetare.

Medan visionerna om nanoboter är hypotetiska, är löftena från de materialforskare som arbetar med nanodimensioner mycket väl förankrade i verkligheten. Redan nu finns ju också de första produkterna, till exempel de högkänsliga hårddiskläsarna försedda med tunna skikt på

20 nanomillimeter eller mindre. I varje ny dator finns nanoteknik. Genom att den är så kraftfull kommer givetvis även nanotekniken att få biverkningar, till exempel genom att många enkla uppgifter försvinner. Å andra sidan uppstår nya verksamhetsområden. Livslångt lärande blir allt viktigare, men det kan ju å andra sidan vara ett nöje - om man använder nanoteknik.

Mer information

Hur blir man nanoingenjör?

Den som besöker ett forskningscentrum där det bedrivs intensiv forskning kring nanoteknik ser att den samlar representanter från alla naturvetenskapliga discipliner: biologer, kemister, ingenjörer från olika fack, kristallografer, mineraloger, fysiker – den gemensamma nämnaren är ju atomnivån och en del av det gemensamma språket är matematiken. De klassiska naturvetenskapliga studiegångarna kan alltså samtliga leda till nanotekniken, men samtidigt börjar nanotekniken att etablera sig som egen disciplin, vilket redan skett vid universitetet i Würzburg. Enligt Alfred Forchel, som är verksam vid institutionen för fysik vid det universitetet, behöver den som studerar nanoteknik inte riskera att upptäcka att det bara var en hastigt övergående trend. Följande är ett utdrag från ett dokument från oktober 2003 från universitetet i Würzburg:

Eftersom trenden mot miniatyrisering inte är en dagslända, utan har en lång utveckling bakom sig är det troligt att användningen inom många områden kommer att inriktas på allt mindre skalor, från mikro till nano med andra ord, och det oavsett om det rör sig om informationsteknik eller kemi. Man behöver ingen kristallkula för att våga påstå att allt kommer att krympa ytterligare – ett exempel är byggelement – och helst skall det bli så litet som möjligt.

Fysiker, kemister och andra naturvetare kan med viss rätt hävda att de alltid bedrivit nanoteknik. Föremålen i den klassiska atomfysiken och molekyler i kemin finns ju i nanokosmos. Genom de experimentmöjligheter som öppnats, till exempel strukturering av kluster, skikt, chips på atomnivå, tillgängligheten till ämnen med högsta reningsgrad och analyser av finaste biologiska strukturer har det öppnats många nya möjligheter, som även kan användas av ingenjörer för mer jordnära ändamål. Enligt Alfred Forchel ser den framtida arbetsmarknaden tämligen ljus ut för nanoingenjörer:

Självklart påverkar konjunkturen även i vår bransch möjligheterna att hitta ett arbete, men ofta är det småsaker som faller avgörandet: Om företag översvämmas av

ansökningar, kan det vara svårt att som sökande sticka ut från mängden. Genom våra praktikperioder på företag finns det dock minst ett företag som lärt känna studenten närmare. De som läser vår utbildning kan också skriva sin slutuppsats ute på företagen, vilket också bidrar till att knyta de studerande närmare arbetsplatsen. Dessutom läser de även ett icke-tekniskt ämne som exempelvis företagsekonomi, vilket ger dem viktiga grundkunskaper om arbetslivet.

Nanoingenjörer måste dock genomgå en gedigen naturvetenskaplig utbildning, som omfattar matematik, vilket även gäller i Würzburg:

Det räcker inte att drömma om att utveckla en u-båt som kan ta sig genom vener. Innan man kommit så långt, måste man investera mycket tid och arbete. Man måste kunna beskriva saker matematiskt, behärska kemi och fysik, dvs. baskunskaperna. Det finns dock ingen anledning att bli avskräckt och kanske kan man ta hjälp av nanofantasierna om studierna går trögt.

Exemplet med u-båten i venen är hämtat från en film. Nanotekniken är annorlunda i verkligheten, å andra sidan finns det riktiga pengar att hämta på området.

Kontaktpersoner, länkar, litteraturhänvisningar

Observera att den här broschyren kommer från tyska förbundsministeriet för utbildning och forskning (BMBF) och att den ursprungligen skrevs för en tysk publik. På följande webbplats finns länkar till icke-tyska europeiska kurser, litteratur och webbplatser: (www.cordis.lu/nanotechnology).

Studievägar inom nanotekniken:

Nanostrukturteknik i Würzburg
Universitetet i Würzburg
Webbplats: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>
Kontaktperson: ossau@physik.uni-wuerzburg.de

Bio- och nanoteknik i Iserlohn
Tekniskt universitet i Südwestfalen
Webbplats: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>
Kontaktperson: Werner@fh-swf.de

Molekylärvetenskap i Erlangen
Universitetet i Erlangen-Nürnberg
Webbplats: <http://www.chemie.uni-erlangen.de/Molecular-Science>
Kontaktperson: hirsch@chemie.uni-erlangen.de

Masterutbildning i mikro- och nanoteknik i München
Münchens tekniska universitet
Webbplats: http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm
Kontaktperson: sotier@physik.fh-muenchen.de

Nanomolekylärvetenskap i Bremen
Bremens internationella universitet
Webbplats: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>
Kontaktperson: f.mueller-plathe@iu-bremen.de

Nanostrukturvetenskap - Nanostructure and Molecular Sciences i Kassel
Universitetet i Kassel
Webbplats: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>
Kontaktperson: masseli@physik.uni-kassel.de

Experimentell studiegång som avslutas med kandidatexamen i biofysik eller nanovetenskap i Bielefeld
Universitetet i Bielefeld
Webbplats: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.html>
Kontaktperson: dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de

Kursen "Mikro- och nanostrukturen" i Saarbrücken
Universitetet i delstaten Saarland
Webbplats: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>
Kontaktperson: wz@lusi.uni-sb.de

Littérature

BMBF-Programm IT-Forschung 2006 - Förderkonzept Nanoelektronik

Utgivare: Ministeriet för forskning och utbildning,
Bonn, mars 2002.

Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden, Nanoelektronik für den Menschen

Utgivare: Ministeriet för forskning och utbildning,
Bonn, oktober 2002.

Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie

Utgivare: Ministeriet för forskning och utbildning,
Bonn, mars 2004.

Bachmann, G.

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

Utgivare: VDI-Technologiezentrum på uppdrag av BMBF; 1998.

Luther, W.:

Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und -systemen Technologieanalyse (Band 43)

Utgivare: VDI-Technologiezentrum på uppdrag av DLR; 2003

Wagner, V; Wechsler, D.:

Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie Technologiefrüherkennung (Band 38)

Utgivare: VDI-Technologiezentrum på uppdrag av BMBF; 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

Utgivare: Ministeriet för forskning och utbildning,
Bonn, oktober 2003

Internetlänkar

EUs främjande av nanoteknik
www.cordis.lu/nanotechnology

Den europeiska portalen för nanoteknik
www.nanoforum.org

"Nanotruck" – resan in i nanokosmos
www.nanotruck.net

Internetreseäventyr efter decimaltecknet
www.nanoreisen.de

Nyheter om och diskussionsfora för nanoteknik
www.nano-invests.de

BMBF:s främjande av nanoteknik
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

VDI-TZ :s portal för nanoteknik
www.nanonet.de

Bränsleceller: Anordning i vilken väte och syre (till största delen luftsyre) reagerar (utan låga) till vatten, varvid elenergi med hög verkningsgrad kan utvinnas.

Byssustrådar: Går även under beteckningarna "musselsilke" eller "musselskägg". Det handlar om mycket raffinerade trådar ur materialteknisk synpunkt, som musslorna använder för att få fäste på olika underlag. Trådarna är elastiska som gummi i ena änden, och styva som nylon i andra.

CNT: Nanorör av kol

Kluster: Små ansamlingar av ytterst små delar, i det här fallet från atomer. Kluster har i de flesta fall andra egenskaper än de utdragna fast kropparna av samma material, delvis beroende på att kluster innehåller flera yttomer.

Diatoméer: Kiselalger, små encelliga växter som lever i sött- eller saltvatten med vackert pansarskal som består av kiselsyra, kiseldioxid och vatten. Diatoméerna ingår i fotosynteskedjan och består därför också av ljusledande strukturer.

DNA: Deoxiribonukleinsyra (DNS). På engelska blir förkortningen DNA eftersom engelska ordet för syra är "acid". Jättemolekyl som har formen av en dubbelspiral och som innehåller information för uppbyggnaden av en organism och "recept" för ett otal proteiner.

ESEM: "Environmental Scanning Electron Microscope" – speciellt svepelektronmikroskop som fungerar även om luft och fuktighet förekommer vid hållaren för provexemplaret. Detta innebär att objekten inte behöver prepareras, till exempel med guld.

Forisomer: Efter det latinska ordet för dörrhalva, så kallade växtproteiner, som utforskas som kandidater för nanoskopiska konstgjorda muskler.

Frielektronlaseranläggning: Skapar laserljus med hjälp av en accelererad stråle av elektroner som rör sig i ett vakuumrör.

Frekvensdubblare: I det här sammanhanget: Material som fördubblar ljusfrekvensen, så att infrarött ljus blir grönt.

Halvledare: Material vars elektriska ledningsförmåga ligger mellan ledares och isolatorers. Halvledare hör till de viktigaste komponenterna i moderna industriprodukter som datorer och mobiltelefoner.

Laboratorium på ett chip: Mycket avancerade chips som befinner sig i slutstadiumet av utvecklingen. Med hjälp av med mikromekanik, mikrofluidik, nanosensorer och – elektronik kan man utföra komplexa undersökningar av celler, som i dagsläget kräver ett helt institut. Beteckningen används också för jämförelsevis enkla hållare för provexemplar med mikroskopiska egenskaper.

Leukocyter: Vita blodkroppar, som försvarar kroppen genom att sluka virus och bakterier, men även rester av celler eller cancerceller som finns i kroppen, eller också, som lymfocyter, genom att producera antikroppar. Antikroppar är mycket målinriktade klistermolekyler.

Optiska fibrer: Leder ljus med extremt genomskinligt material över långa sträckor, används mest för datatransport, men även för transport av energi.

Litografi: I det här sammanhanget: Möjligheten att i mikrokosmos kunna framsträlla strukturer, vilket oftast sker med hjälp av fotolack på vilken ljus- eller elektronstrålar ristar. Därefter framkallas lacken, varvid delar av den döljs eller frigörs för etsning eller andra processer.

Mask: En typ av diabil, som innehåller strukturen för ett datorchip, som därefter på fotolitografisk väg förs över på ett wafer.

Mikrolinsfält: Mikrooptiska element, som bland annat är viktiga för informationsöverföring med hjälp av ljus.

Miceller: Små, klotformade formationer, som av naturen (i det här fallet muskeln) används som transportbehållare.

Fas: I det här sammanhanget: Tillstånd, t.ex.: ordnat/underordnat, kristallint/amorft.

Fotosyntes: Gröna växter, alger och cyanobakterier (blågrönalger) får sin energi via fotosyntesen. Med hjälp av solljuset omvandlar växterna koldioxid och vatten till socker och syre. Fotosyntesen fungerar med ett primärt energiutbyte på imponerande dryga 80 %.

Piezokristaller: Piezoelement alstrar elektricitet när de dras ut eller pressas ihop, ungefär som när lågan antänds i "elektroniska" tändare. Omvänt kan en piezoelektrisk kristall, med hjälp av elektriska strömmar, formas ned till bråkdelar av en atomdiameter.

Proteiner: Stora molekyler som består av ribosomer från aminosyror och som i en cell dels fungerar som nanoskopiska verktyg, dels som byggmaterial för allt från ögats linser till fingernaglar. Dekrypteringen av proteomet, dvs. summan av alla proteiner och deras växelverkan i en cell, har just kommit igång.

Kvantdator: Använder de speciella reglerna för kvantmekanik för att lösa problem, till exempel sådana som har med dekryptering av information att göra och som i princip är omöjligt att lösa med konventionella datorer. Befinner sig fortfarande på utvecklingsstadiet.

Reflektin-proteiner: Speciella proteiner som används av organismer för att bygga upp ljusreflekterande strukturer.

Ribosomer: Nanomaskiner som med hjälp av molekylband med information från det genetiska materialet DNA kan tillverka enorma mängder proteiner.

Röntgenstrålning: Kortvågig elektromagnetisk strålning som bland annat kan användas för analys av kristallstrukturen för att fastställa molekylernas nanoskopiska form.

Tunnelström: Ström som egentligen inte kan flöda, eftersom den passerar en öppning som är isolerad, men som kan flöda i nanokosmos, vilket dock i oerhört hög grad är beroende av storleken på den isolerade öppningen. Sveptunnelmikroskopet har möjliggjort detta.

UV-strålning: Kortvågig strålning, som gör att produktion av ytterst fina chipsstrukturer är möjlig.

Van-der-Waals-bindningen: Svag, kemisk bindning mellan molekyler, vars yttersta orsak är egenskaper i det tomma rummet. Van-der-Waals-bindningar bestämmer även vattnets egenskaper och därigenom samtliga livsprocesser.

Bilder

- S.4 ovan: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, universitetet i Hamburg
S.4 nedan: Lambda Physik AG, Göttingen
S.5 ovan: Infineon Technologies AG, München
S.5 nedan: BergerhofStudios, Köln
S.6 ovan till vänster: Chemical Heritage Foundation
S.6 ovan och nere till höger, nere till vänster: BergerhofStudios, Köln
S.7 ovan till vänster: NASA/ESA
S.7 ovan till höger: DESY, Hamburg
S.7 i mitten till vänster: BergerhofStudios, Köln
S.7 nere till höger: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, universitetet i Kiel
S.8 ovan till vänster: REM-Labor, universitetet i Basel
S.8 bildsekvens, med början ovanifrån: BergerhofStudios, Köln; dto.; dto.; REM-Labor, universitetet i Basel; Nobelkommitéen Stockholm (bearbetad); DESY, Hamburg
S.9 ovan till vänster: botanska institutet, Bonns universitet
S.9 ovan till höger: REM-Labor, universitetet i Basel
S.9 bildsekvens, med början ovanifrån: BergerhofStudios, Köln; dto.; Fraunhofer Gesellschaft; botanska institutet, Bonns universitet Bonn; dto.; TU Berlin, FU Berlin
S.9 bakgrundsbild: BASF AG
S.10, ovan till vänster + höger: MPI för metallforskning, Stuttgart
S.10, i mitten till höger: ESA
S.10, nere till vänster: MPI för metallforskning, Stuttgart
S.11, nere till vänster: Ostseelabor Flensburg, bredvid: BergerhofStudios, Köln
S.11, ovan till höger: universitetet i Florens, Italien
S.11, i mitten till höger: paleontologiska institutet, universitetet i Bonn
S.11, nere till vänster: BergerhofStudios, Köln
S.11, nere till höger: SusTech, Darmstadt
S.12, ovan, mitten, nere till höger: Bell-laboratorierna, USA
S.12 vänster: institutionen för biokemi, universitetet i Regensburg
S.13, ovan: institutet för nya material, Saarbrücken
S.13, i mitten till höger: Degussa AG Advanced Nanomaterials
S.13, nere till höger: institutet för geofysik, universitetet i München
S.13, nedan: institutet för fysikalisk kemi, universitetet i Hamburg
S.14, ovan + nere till vänster: ESA
S.14, nedan till höger: IBM Corporation
S.15, ovan + i mitten till vänster: fysik IV, universitetet i Augsburg
S.15, i mitten till höger + mitten: kompetenscentret för nanoanalys, universitetet i Hamburg
S.15, grafik nere till höger: BergerhofStudios, Köln
S.15, nedan: Hawaiis universitet, Honolulu
S.16, till vänster: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
S.17, ovan till höger: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
S.17, nere till vänster: IHT RWTH Aachen
S.17, nere till höger: Schott AG, Mainz
S.18, nere till vänster: Bayer AG, Leverkusen
S.18, nere till vänster: MPI för kvantoptik, Garching
S.19, alla bilder: DESY, Hamburg
S.20, ovan till vänster: BergerhofStudios, Köln
S.20, nere till höger: instituter för nya material, Saarbrücken
S.21, ovan till vänster: HILIT, EU Joule III-programmet
S.21, ovan till höger: NASA/ESA
S.21, nere till höger: universitetet i Stuttgart
S.22, alla bilder: BergerhofStudios, Köln
S.23, ovan till vänster: National Semiconductor, Feldafing
S.23, nere till höger: Advanced Micro Devices, Dresden
S.24, ovan till höger: Grafik: BergerhofStudios, Köln
S.24, i mitten till vänster: experimentalfysik IV RUB, Bochum
S.24, nedan: institutet för experimentell och tillämpad fysik, universitetet i Kiel
S.25, ovan till höger: Grafik: BergerhofStudios, Köln
S.25, nedan: IHT RWTH Aachen
S.26, ovan till höger: IBM Corporation
S.26, nedan till vänster: Infineon Technologies AG, München
S.26, nedan till höger: IBM/Infineon, MRAM Developement Alliance
S.27, ovan: experimentalfysik IV RUB Bochum
S.27, i mitten: kompetenscentret för nanoanalys, universitetet i Hamburg
S.27, till höger: institutionen för nanoelektronik, RUB Bochum
S.27, nedan: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Mainz
S.28: Siemens AG, München
S.29, ovan till höger: Nanosolutions GmbH, Hamburg
S.29, i mitten: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
S.30, nedan: Siemens AG, München
S.30, ovan: DaimlerChrysler AG
S.30, nedan till vänster: Fraunhofer Allianz Optisch-funktionale Oberflächen
S.30, nedan till höger: University of Wisconsin-Madison
S.31, ovan: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
S.31, i mitten: Audi/Volkswagen AG
S.31, nere till vänster: VW Pressearchiv
S.31, nere till höger: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
S.32, ovan till vänster: Bayer AG, Leverkusen
S.32, ovan till höger: institutet för nya material, Saarbrücken
S.32, nere till vänster: Keramag AG, Ratingen
S.33, ovan: BASF AG, Ludwigshafen
S.33, i mitten: MTU Friedrichshafen
S.33, nere till höger: Siemens AG, München
S.34, ovan till vänster: Bayer AG, Leverkusen
S.34, ovan till höger: Siemens AG, München
S.34, nedan: Infineon Technologies AG, München
S.35, ovan till vänster: Siemens AG, München
S.35, ovan till höger: Siemens AG, München
S.35, i mitten: Charité Berlin / institutet för nya material, Saarbrücken
S.36, ovan till höger: BergerhofStudios, Köln
S.36, till vänster: Infineon Technologies AG, München
S.36, till höger: IIP Technologies, Bonn
S.37, ovan till vänster: Siemens AG, München
S.37, ovan till höger: Fraunhofer ISIT
S.37, i mitten till höger: Oxford University
S.37, nere till vänster, höger: Infineon Technologies AG, München
S.38, ovan till vänster: OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Regensburg
S.38, nedan: Grafik: BergerhofStudios, Köln
S.39, ovan: Park Hotel Weggis, Schweiz
S.39, nedan: Siemens AG, München
S.40, ovan till vänster: BergerhofStudios, Köln
S.40, nedan till vänster: Bayer AG, Leverkusen
S.41, ovan: AIXTRON GmbH, Aachen
S.41, till höger: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
S.42: Institutet för flygplansbyggnad, universitetet i Stuttgart
S.43, ovan till vänster, höger: MTU Friedrichshafen
S.43, i mitten till vänster: institutet för luft- och rymdfarts-konstruktioner, universitetet i Stuttgart
S.43, i mitten till höger: Fuseproject
S.43, nedan: Kopf Solar design GmbH, Hamburg
S.44, ovan till vänster: Kollage: BergerhofStudios, Köln
S.44, nedan till höger: RWTH Aachen
S.45, ovan till vänster: Siemens AG, München
S.45, ovan till höger: Infineon Technologies AG, München
S.45, nedan: NASA
S.46, i mitten: BergerhofStudios, Köln
S.47: IBM Corporation, infogad bild: Siemens AG, München



EUROPEAN
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

Uncovering the secrets of nanotechnology



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

Contact:

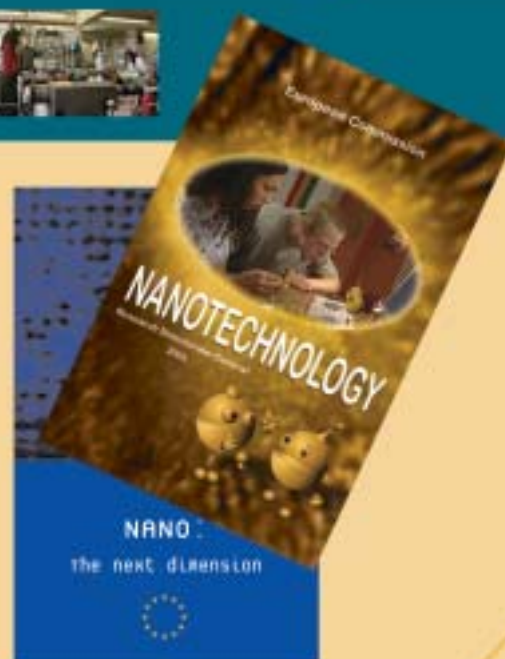
Renzo Tomellini, European Commission - email: renzo.tomellini@cec.eu.int

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

Europeiska kommissionen

Nanoteknik – Innovation för framtiden

Luxemburg: Byrån för Europeiska gemenskapernas officiella publikationer

2006 — 54 s. — 21,0 x 29,7 cm

ISBN 92-79-00878-1

Nanotekniken anses vara den viktigaste tekniken under det 21:a århundradet. Tack vare att den erbjuder mindre, lättare, snabbare och mer högpresterande material innebär den lösningen på många av dagens problem. Nanotekniken öppnar nya marknadsmöjligheter och kan också bidra till miljö- och hälsoskydd.

Den här broschyren syftar till att ge allmänheten en bild av vad nanoteknik är och därigenom stimulera till diskussion. Genom att den innehåller en beskrivning av den vetenskapliga bakgrunden, den tekniska utvecklingen, tillämpningsområden och möjliga utvecklingsvägar i framtiden, ger den en sammansatt och omfattande bild av dagens nanoteknik.