

MENS :
een indringende
en educatieve
visie op het
leefmilieu

Dossiers en rubrieken
didactisch gewikt
en gewogen door
eminente specialisten

48

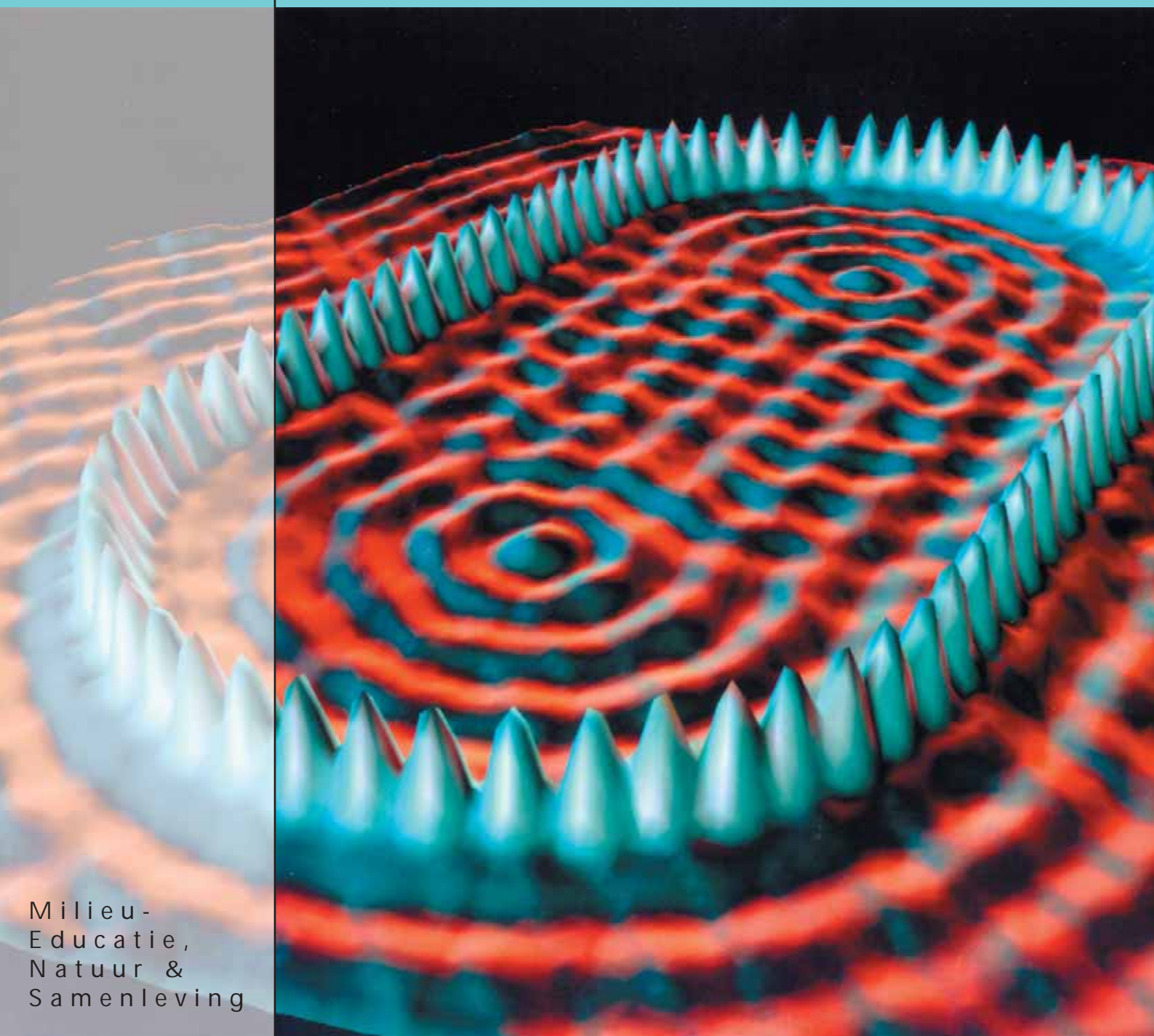
1e kwartaal 2003

MENS

Driemaandelijks populair-wetenschappelijk tijdschrift

Spelen met atomen Nanotechnologie wordt volwassen

UITGIFTEKANTOOR 2800 MECHELEN 1



Milieu-
Educatie,
Natuur &
Samenleving

Inhoud

I. Het kleine begin	3
II. Met grote ogen	6
III. Nanomaterialen	9
Van katalysator en kleurstof tot machineonderdeel	9
Nieuwe koolstoffamilie	9
Hoge verwachtingen	10
IV. Nano-elektronica	11
Moore 'à la limite'	11
De nanobuisjescomputer	11
Kwantumstippen	12
V. Nanomachines	13
VI. Nanogeneeskunde en biologie	13
Epiloog	15
Nano wordt 'big business'	15
Nanobelgen	15

Voorwoord

De nanotechnologieën bevinden zich in het grensgebied van fysica, engineering, scheikunde en biologie. Zij steunen op een aantal revolutionaire theorieën en technieken die tot doel hebben voorwerpen te manipuleren of te vervaardigen die even groot zijn als atomen en moleculen, dat wil zeggen in de orde van het miljoenste van een millimeter of nanometer.

De experts terzake menen dat de nanotechnologieën de komende jaren de wetenschappen, de technologie, de economie en de maatschappij grondig zullen veranderen en de volgende wetenschappelijke en industriële revolutie zullen vormen. Zoals blijkt uit de geestdrift van de onderzoekers, de uitgesproken steun van de financieringsinstellingen of verder nog de massale investeringen van de grote industriële spelers, is deze revolutie al op gang gekomen.

Het onderzoek op het gebied van nanostructuren houdt voor de toekomst heel veel beloften in voor nieuwe toepassingen die zullen voortvloeien uit het gebruik ervan in talrijke sectoren zoals, bijvoorbeeld, telecommunicatie, elektronica, informatica, farmacie, scheikunde, geneeskunde, leefmilieu, mechanica, lucht- en ruimtevaart,...

In Europa, de Verenigde Staten en Japan worden grootschalige onderzoeksprogramma's rond nanotechnologieën op het getouw gezet. In Europa alleen al zijn er voor diverse toepassingen meer dan tweehonderd nanotechnologienetwerken. De Europese Unie heeft met haar Zesde Kaderprogramma voor Onderzoek, Technologische Ontwikkeling en Demonstratietechnieken speciaal oog voor de initiatieven op dat vlak. Ten bewijze de derde plaats die daarvoor is ingeruimd in haar prioritaire onderzoeksthema's (en de meer dan 1,3 miljard euro die ervoor uitgetrokken is).

Het aantal wetenschappelijke publicaties (twaalfde plaats in de wereld) en het aantal aangevraagde octrooien (vierde op wereldvlak) tonen aan dat België zich bij de nanotechnologierevolutie aangesloten heeft. De federale regering heeft hier via haar programma "Interuniversitaire attractiepolen" (IUAP) op betekenisvolle wijze haar steentje toe bijgedragen. De bedoeling van dit fundamenteel onderzoekprogramma is om door netwerking het hoogstaand wetenschapspotentieel van de universiteiten verder uit te bouwen. De nieuwe fase van het IUAP-programma, die op 1 januari 2002 van start gegaan is, is een bewijs voor de onafgebroken inspanning voor de nanotechnologie-sector. Deze fase loopt over 5 jaar en van haar totale budget (circa 112 miljoen euro) wordt ongeveer 15 miljoen euro uitgetrokken voor twee netwerken van Belgische "centres of excellence", die de Europese netwerken op het gebied van de nanowetenschappen helpen versterken.

Het wetenschappelijk kunnen op het terrein is er en er zijn aanzienlijke financiële middelen vrijgemaakt. Alle ingrediënten zijn dan ook samengebracht om in België een potentieel strategische sector te ondersteunen.

Ir. Eric Beka,
Secretaris-generaal van de Federale diensten voor wetenschappelijke,
technische en culturele aangelegenheden.



MENS is een uitgave van de VVB vzw, de Vlaamse Vereniging voor Biologie. In het licht van het huidige maatschappijmodel ziet zij objectieve wetenschappelijke voorlichting als één van de basisdoelstellingen.

www.2mens.com

Onder de auspiciën van:

- Federale diensten voor Wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC)
- Belgisch Werk tegen Kanker en Vlaamse Kankerliga
- Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging (K.V.C.V.)
- Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging (KVIV)
- Vereniging Leraars Wetenschappen (VeLeWe)
- Vereniging voor het Onderwijs in de Biologie (V.O.B.)
- Vereniging Leraars Aardrijkskunde (V.L.A.)
- Vlaamse Ingenieurskamer (V.I.K.)
- Water - Energie - Leefmilieu (WEL)
- Centrum voor Milieusanering, U. Gent
- Verbond der Vlaamse Academi's (V.V.A.)
- Nederlands Instituut voor Biologen (NIBI)
- Natuur & Wetenschap
- Provinciaal Instituut voor Milieu-Educatie (PIME)
- Koninklijke Maatschappij voor Dierkunde van Antwerpen (KMDA)
- Zoo Antwerpen en dierenpark Planckendaal
- Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN)
- Koninklijk Instituut voor het duurzaam beheer van de Natuurlijke rijkdommen en de bevordering van de schone Technologie (K.I.N.T.)

Coördinatie:

Prof. Dr. R. Caubergs
roland.caubergs@ua.ac.be

Hoofd- en eindredactie:

G. Potters
mens@ua.ac.be

Kernredactie:

A. Van der Auweraert, RUCA
R. Caubergs, RUCA
C. Thoen, middelbaar onderwijs

Info en abonnementen:

C. De Buysscher
Te Boelaarlei 21, 2140 Antwerpen
Tel.: 03 312 56 56 - Fax: 03 309 95 59
corry.db@belgacom.net

Abonnement: 18 € op nr. 777-5921345-56

Educatief abonnement: 10 €
of losse nummers: 3,15 €
(mits vermelding instellingsnummer)

Promotie en externe relaties

I. Van Herck
GSM: 0475 97 35 27
Fax: 051 22 65 21
invahe@ruca.ua.ac.be

Topic and fund raising:

Dr. S. De Nollin
Tel.: 03 322 74 69 - Fax 03 321 02 77
denollin@uia.ua.ac.be

Verantwoordelijke uitgever:

Prof. Dr. R. Valcke
roland.valcke@luc.ac.be

Met dank voor de illustraties aan :

V.H. Crespi
Cees Dekker, TUDelft
IBM
NASA
EMAT-UAntwerpen
KULeuven
ULiège
CNF-Cornell University
Sandia National Laboratories

© Alle rechten voorbehouden MENS 2003

Coverfoto: Arena van ijzeratomen op een koperplaat, zie pag.8. (foto IBM)

NANOTECH IS MEGASUPER

Dit nummer van Mens werd samengesteld door Herman Lemmens en Peter Raeymaekers met medewerking van Prof. Y. Bruynseraede en Dr. K. Temst, Katholieke Universiteit Leuven
Prof. F. De Schryver, Katholieke Universiteit Leuven
Prof. R. Jérôme en Dr. C. Jérôme, Université de Liège
Prof. P. Lambin, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur
Prof. D. Van Dyck, Universiteit Antwerpen
Mevr. V. Feys en mevr. C. Lejour, Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden

'De nanorevolutie is begonnen', 'Nanotech, the science of small gets down to business', 'La révolution des nanos', 'The next big thing will be small' zijn slechts enkele van de ronkende titels waarmee wetenschappelijke tijdschriften nanotechnologie aankondigen. Maar wat is nanotechnologie nu precies?

Nanotechnologie is het manipuleren van materialen op de schaal van de atomen zelf. De term is afkomstig van het Oudgriekse woord 'nanos', wat dwerg betekent. Nano staat dus voor klein, heel klein. De 'nanometer' is het miljardste deel van een meter. Er zijn wetenschappers die beweren dat nanotechnologie een radicale omkering inluidt van het ganse industriële proces. Nanotechnologie zal zijn weg vinden naar duizend en één toepassingen in ons dagelijks leven: van zonnebrillen, over quantumcomputers tot nanodeeltjes die kankercellen in ons lichaam te lijf gaan.

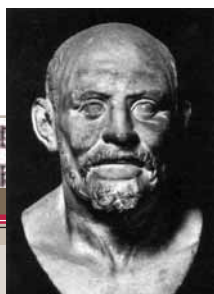
In dit nummer van Mens schetsen we de technieken die vandaag beschikbaar zijn om nanostructuren te bekijken en te bouwen en we geven een overzicht van de mogelijkheden die deze nieuwe technologie met zich meedraagt.

I. Het kleine begin

Voor het echte begin van de nanotechnologie moeten we misschien wel bij Albert Einstein zijn. In zijn doctoraatscriptie berekende hij de omvang van een suikermolecule. Ongeveer één nanometer (nm) in diameter, was zijn verdict.

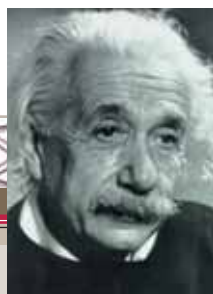
Ondertussen werd die ene nanometer de essentie van 'klein'. Eén nanometer komt overeen met tien waterstofatomen op een rij, het duizendste van de lengte van een doordeweekse bacterie, het vijftigduizendste van de dikte van een haartje, het miljoenste van de doormeter van een speldenkop, het miljardste van de lengte van een kleuter.

Zowat 100 jaar na de berekening door Einstein, staat de nanometer hoog op de agenda van de onderzoekswereld. Na biomedisch onderzoek en defensie is nanotechnologie opgeklommen tot de derde plaats. Toch is het onderzoeksveld moeilijk te definiëren, want nanotechnologie wordt beoefend door een bont gezelschap uit verschillende onderzoeks-



400 v.C.

De Griekse natuurfilosoof Democritus neemt aan dat alles is opgebouwd uit minuscule, onzichtbare bouwstenen, die alle onvergankelijk en onveranderlijk zijn. Deze kleinste deeltjes noemt hij 'atomen', het Griekse woord voor 'ondeelbaar'.



1905

Albert Einstein berekent de diameter van een suikermolecuul.



1931

Ernst Ruska ontwikkelt samen met Max Knoll de elektronenmicroscop.

Het kleine gemeten



menselijke hand
is ca. 0,1 m breed



een zandkorrel
ca. 1 mm



een menselijk haar
ca. 0,1 mm dik



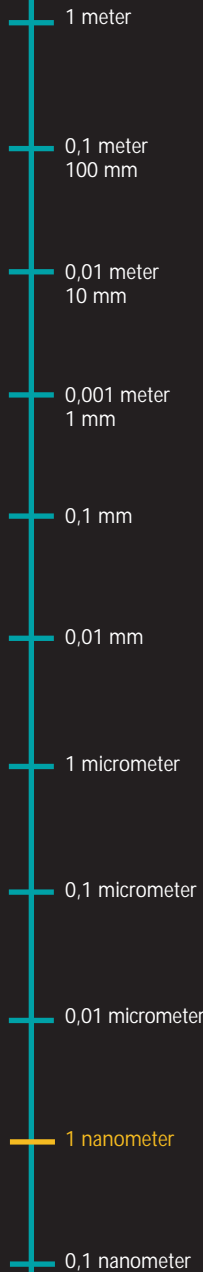
een rookdeeltje
ca. 4 micrometer



doormeter DNA
ca. 2 nanometer



Atoom
ca. 0,1 nanometer



'Nanotechnologie is een opkomend terrein van onderzoek en ontwikkeling dat gewijd is aan de beheersing van materiële structuren die ten minste in één dimensie (lengte, breedte of hoogte) een nanoschaalafmeting hebben (0,1 tot 100 nm). Bovendien is er bij de opbouw van deze structuren voortdurend controle over de fysische en chemische eigenschappen'

disciplines – natuurkundigen, ingenieurs, scheikundigen, elektronici, informatici en moleculair biologen. Maar ze hebben allemaal wel één gemeenschappelijk doel: dingen bouwen die in minstens één dimensie - lengte, breedte of hoogte – kleiner zijn dan 100 nm. Om dat te doen, willen ze atoom per atoom gericht kunnen manipuleren. En precies in dat 'gerichte' ligt het verschil met de macrotechnologie. Want het manipuleren van moleculen op zich, zelfs van atomen, is niet nieuw. Dat doen we al eeuwen. Een potje water koken is in wezen een moleculair proces waarbij we watermoleculen in vloeibare toestand omzetten naar gasvormige fase. Ook bij het ontrafelen van de genetische code, dringen we door tot op het moleculaire niveau. Toch zijn deze voorbeelden geen nanotechnologie. Het bijzondere van het opereren op nanoschaal, ligt in de 'stuk voor stuk' manipulatie van atomen. We leggen als het ware onze wil op atomaire schaal op aan het bouwproces.

Natuurlijk heeft nanotechnologie ook zijn sceptici. Volgens hen is nanotechnologie niet veel anders dan één grote 'hype'. En helemaal ongelijk hebben die sceptici niet: de materiaalwetenschappers, organische chemici en moleculair biologen van gisteren, noemen zich vandaag met veel verve nanotechnologen. Moest Einstein zijn doctoraat in 2003 schrijven, dan zou zijn begeleider hem zonder enige twijfel aanporren met de woorden: "Nanotech, Albert, nanotech, daar ligt jouw toekomst!"

Klein wordt groot

De echte peetvader van de nanotechnologie is de natuurkundige en latere Nobelprijswinnaar Richard Feynman. Tijdens een legendarische lezing in 1959 voor de Amerikaanse 'Physical Society' droomde hij hardop over nieuwe fabricagetechnieken die steeds kleinere bouwstenen gingen gebruiken, zelfs tot individuele atomen toe. Zijn lezing 'There is plenty of room at the bottom' wordt gezien als het startpunt van de nanotechnologie.

In 1981 kwamen Feynman's theoretische bespiegelingen een stuk dichterbij. Op het beeldscherm van hun pas gebouwde rastertunnelmicroscop (STM, van het Engelse 'Scanning Tunnel Microscope') zagen Heinrich Rohrer en Gerd Binnig voor het eerst de omtrek van afzonderlijke atomen. De STM tast met een hele fijne, metalen naald het oppervlak van het materiaal af. Individuele atomen worden gedetecteerd als hobbels (zie hoofdstuk 'Met grote ogen').

Dat de STM afzonderlijke atomen kan waarnemen, is op zich al uniek, maar zijn echte faam dankt het apparaat aan een onvolkomenheid van de eerste toestellen. De STM-naald dook zo nu en



1959

Richard Feynman geeft zijn lezing 'There's plenty of room at the bottom'.



1981

Gerd Binnig en Heinrich Rohrer ontwikkelen de rastertunnel-microscop.



1985

Richard E. Smalley en zijn collega's ontdekken de buckyballetjes.

Vandaag biefstuk-friet, morgen het WTC

De Amerikaan Eric Drexler is zonder enige twijfel de meest radicale profeet van de nanotechnologie. Drexler introduceerde de 'assembler', vooralsnog een uitsluitend theoretisch concept van een soort ultrakleine robothand, die atomen razendsnel kan verplaatsen en met elkaar combineren. De assembler zou om het even wat kunnen maken: een stukje DNA, een bord biefstuk-friet, een racewagen of een nieuwe WTC-toren. Volgens Drexler kan de assembler het in de toekomst allemaal in elkaar knutselen, atoom voor atoom, op basis van een bouwplan in zijn geheugen.

Nog steeds volgens de Amerikaan biedt een assembler enorme voordelen want door de atomaire bouwtechniek gaat er niets verloren. Er is dus geen verspilling en alles kan volledig worden gerecycleerd. Daardoor zal de honger uit de wereld verdwijnen en is voor ons het eeuwige leven voorzien (zie nanogeneeskunde). Dat wordt bovendien een luilekker leven, want nanomachines maken menselijke arbeid overbodig. We kunnen dus permanent en eeuwig op vakantie. Een prettig vooruitzicht, niet?

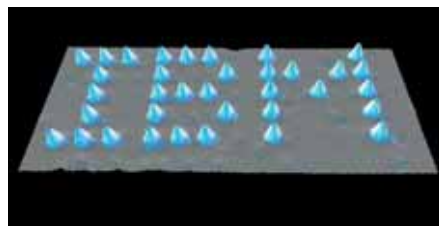
Maar assemblers hebben ook schaduwkanten. Als een assembler op hol slaat en een oneindig aantal kopieën van zichzelf maakt, is hij volgens Drexler onmogelijk te stoppen. Een dergelijke assembler zou alle grondstoffen opgebruiken en dat betekent het einde van de wereld.

Ook nanodromen zijn bedrog

Het merendeel van de nanodeskundigen tikt bij de dromerijen van Drexler zichzelf met de wijsvinger tegen het voorhoofd. Volgens de hoogleraar David Reinhoudt (Twente, NL) brengt Drexler met zijn toekomstvisies de nanowetenschap veel schade toe. Drexlers theorieën bestaan volgens Reinhoudt uit "brokjes materiaal uit leerboeken, vastgeplakt aan een groot stuk fantasie". Ook nobelprijslaureaat Richard Smalley (Rice University, VS) vindt dat Drexler er maar op los bazelt. Volgens hem zijn de atomaire assemblers fysisch gewoon onmogelijk. Harvard-professor George Whitesides is evenmin enthousiast over de theorieën van Drexler: "Ik denk wel dat we in de toekomst zelfreplicerende systemen kunnen construeren, maar dan heb ik het over bepaalde bacteriën of cellen". De Leuvense fysicus en hoogleraar Yvan Bruynseraede noemt het aandikken van technische mogelijkheden, zoals Drexler doet, buitengewoon gevaarlijk voor de nanotechnologie als wetenschap. "Dat is precies wat er in 1987 gebeurde met supergeleiding. De kranten stonden er vol van en overal kwamen onderzoeksfondsen vrij. Maar vijf jaar later, toen onderzoekers nog steeds geen supergeleidende broodrooster lieten zien, droogden de geldstromen even snel weer op. Dat mag met nanotechnologie niet gebeuren."

dan in het te betasten oppervlak en tot grote opwinding van Rorher en Binnig pikte de naald vervolgens één of twee atomen mee, om die verderop weer los te laten. Per ongeluk hadden beide onderzoekers het eerste apparaat gebouwd dat individuele atomen kon manipuleren.

Don Eigler, een IBM-onderzoeker uit het Amerikaanse San José ging met zijn STM nog een stapje verder. Op een stukje nikkel manoeuvreerde hij 35 xenon-atomen totdat hij de letters 'I B M' had gevormd.



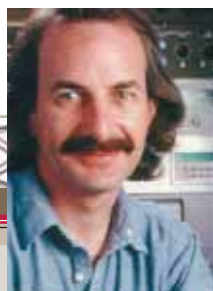
Elke letter was amper 5 nm groot. Even ter vergelijking: met Eiglers atoomschrift kunnen we de hele Encyclopedia Britannica, goed voor zo'n 40 000 pagina's, afdrukken op een vierkantje met zijden van 0,1 millimeter.

Natuurlijk is Eiglers reclamepaneel slechts heel primitieve nanotechnologie. Wil het echte bouwen met atomen de wind in de zeilen krijgen, dan moeten we nanostructuren in grote hoeveelheden kunnen fabriceren. Daar zijn heuse nanofabriekjes voor nodig. Dergelijke fabrieken, soms ook wel 'assemblers' genoemd, zijn wellicht niet voor morgen, hoe wild de dromen van mensen als Eric Drexler ook zijn (Zie kaderstuk 'Vandaag biefstuk-friet, morgen het WTC').



1986

Eric Drexler publiceert het boek 'Engines of Creation'.



1989

Donald M. Eigler van IBM schrijft de naam van zijn bedrijf in atoomschrift.



1991

Sumio Iijima van het Japanse bedrijf NEC ontdekt de nanobuizen.

Ongetwijfeld bevindt de nanotechnologie zich nog in haar prille jeugdijaren. Ze zal zich enkel met behulp van reusachtige onderzoeksinspanningen kunnen ontwikkelen tot een sleuteltechnologie voor de 21ste eeuw. Volgens sommigen zal nanotechnologie zelfs de biomedische en farmaceutische technologie van vandaag overtreffen wat betreft impact op de samenleving. Volgens een studie van de Nederlandse 'Stichting Toekomstbeeld der Techniek' zal de toenemende beheersing over het rangschikken van atomen geheel nieuwe mogelijkheden scheppen op alle gebieden, van duurzame producten tot militaire toepassingen. Veel nieuwe nanomaterialen, elektronische systemen en medische toepassingen zullen in een tijdspanne van 20 jaar op de markt verschijnen. Daar zullen wellicht spectaculaire producten tussenzitten zoals zelfreinigend textiel, superefficiënte zonnecellen of ultrazuinige diodelampjes om woningen en gebouwen te verlichten. Maar of ook de zelfreproducerende nanomachines ooit worden gerealiseerd, valt sterk te betwijfelen.

Verderop in dit nummer van Mens geven we een aantal toepassingen waarin nanotechnologie vandaag al een rol speelt, maar we staan ook stil bij de toekomst. Evenmin laten we na om een kort overzicht te geven van het instrumentarium waarvan de nanotechnoloog zich bedient. Kortom, we slepen u mee in de wondere wereld van minuscule koolstofballetjes, kippengaasbuisjes, atomaire arena's en kwantumfata morgana's.

II Met grote ogen

Micro- en nanostructuren zijn voor ons oog onzichtbaar. Pas in de 17de eeuw brachten wetenschappers als Antoni Van Leeuwenhoek daar verandering in. Van Leeuwenhoek construeerde microscopen en bestudeerde daarmee eencellige wezens. Hoe begenadigd deze Nederlandse pionier ook was in het glasslijpen, hij kon geen objecten waarnemen die kleiner waren dan één micrometer.

Zien met elektronen

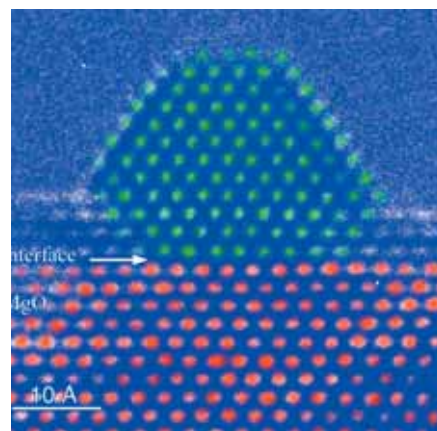
Om structuren op de nanometerschaal te bestuderen, waren microscopen met een betere resolutie nodig, zoals de elektronenmicroscop. Deze 'bekijkt' de objecten niet met licht, maar stuurt er snelle elektronen doorheen. Als onderzoekers daarenboven de beelden van deze microscopen met computerprogramma's te lijf gaan, zien ze zelfs individuele atomen.

Bovendien is het met een moderne elektronenmicroscop mogelijk de chemische structuur en elektromagnetische eigenschappen van een materiaal te onderzoeken. Een uitgebreid overzicht over microscopie vindt u in Mens 44, 'Voorbij de grenzen van het zien'.

Atomen voelen

De meeste nanotechnologen beschouwen echter de rastertunnelmicroscop (STM) als belangrijkste doorbraak voor de nanotechnologie. De ontwerpers van de eerste STM, Rohrer en Binnig, kregen daarvoor in 1986 de Nobelprijs, samen met Ernst Ruska, de bouwer van de eerder genoemde elektronenmicroscop.

Bij de STM tast een fijne geleidende naald het oppervlak van het object af en wordt er een kleine elektrische spanning tussen het voorwerp en de naald aangelegd. Als deze naald de atomen van het preparaat nadert, springen er elektronen over. Dit 'tunnelen' van elektronen grijpt



De individuele atomen van een gouddeeltje (groene stippen) op de ondergrond van magnesiumoxide (rode stippen) zichtbaar gemaakt met een elektronenmicroscop (links).



1998

De onderzoeksgroep van Cees Dekker uit Delft ontwerpt de eerste transistor die is opgebouwd uit koolstofnanobuisen.



1999

Volgens Mark Reed kunnen enkelvoudige moleculen zich gedragen als moleculaire schakelingen.



2000

President Clinton houdt het 'USA National Nanotechnology Initiative' boven de doopvont.

plaats als de punt iets minder dan een nanometer van het oppervlak is verwijderd. Door de naald te verbinden met gesofisticeerde elektronische apparatuur, kan een computer tijdens het aftasten een atomair beeld opstellen van het oppervlak van het voorwerp.

De STM is echter niet alleen een bijzonder nuttig instrument om oppervlaktestructuren in groot detail te analyseren. Zoals eerder vermeld, kan het toestel ook afzonderlijke atomen aan het oppervlak verplaatsen. Het is namelijk mogelijk om de naald nog dicht bij het object te brengen en een zodanige elektrische spanning aan te leggen, dat het atoom blijft kleven aan de naald. Het atoom reist dan gewoon mee met de naald en blijft pas achter als de spanning wordt

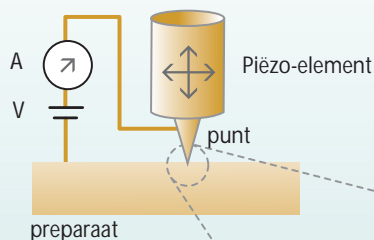
weggenomen. Dit verplaatsen van atomen moet wel bij heel lage temperatuur (-100°C) gebeuren, anders bewegen atomen spontaan over het oppervlak.

Atomaire kracht

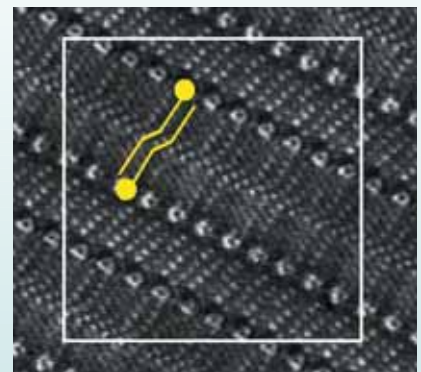
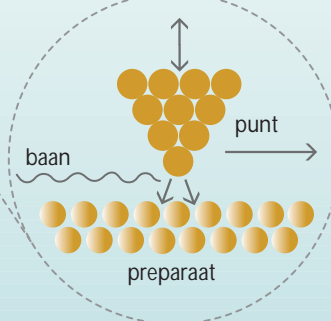
Ook de atomaire krachtmicroscop (AFM, van het Engelse Atomic Force Microscope) gebruikt een fijne punt om het oppervlak af te tasten. Er wordt echter geen spanning aangelegd tussen de naald en het oppervlak. Om de contouren van het oppervlak te volgen, zal de arm, waarop de naald is gemonteerd, op en neer bewegen. Een laser kan die ultrakleine bewegingen optekenen waardoor, net als bij de STM, een atomair beeld ontstaat van het oppervlak van een materiaal.

Bovendien kan de computer ook de verdraaiing (de torsie) van de arm meten. Die verdraaiing ontstaat door krachten evenwijdig aan het oppervlak.

Zowel van de AFM als de STM bestaan vele varianten en deze toestellen blinken dan ook uit door hun veelzijdigheid. Ook hun kostprijs is redelijk laag zodat deze toestellen stilaan een plaats vinden in elk laboratorium voor materiaalonderzoek. De elektronenmicroscop is echter veel duurder en het klaarmaken van het preparaat is een stuk moeilijker. Het meeste onderzoek met dit soort microscopen blijft daardoor beperkt tot gespecialiseerde laboratoria. Anderzijds kan de elektronenmicroscop ook binnenin het object kijken, terwijl de STM en de AFM alleen het oppervlak aftasten.



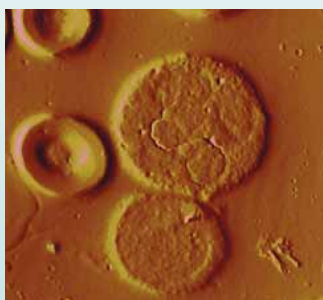
Het principe van de rastertunnelmicroscop (STM). De naald van de STM kan over enkele nanometer worden bewogen omdat het op een piëzo-element is gemonteerd. Onder invloed van een elektrische spanning verandert dit van vorm waardoor de naald enkele nanometer verschuift.



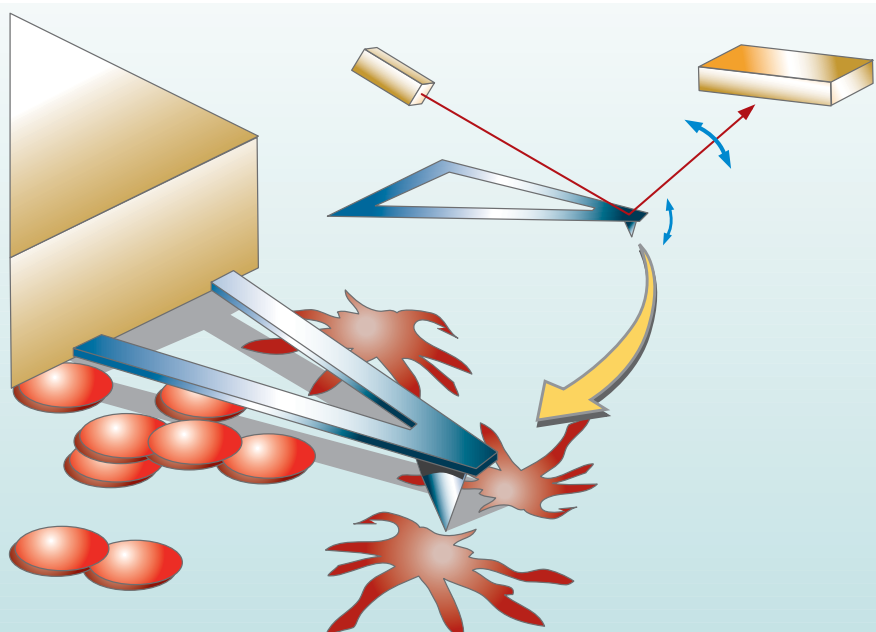
STM-beeld van diacetyleenmoleculen.



Bij de atomaire krachtmicroscop (AFM) wordt elke minuscule verticale beweging van de naald gemeten met behulp van een laserstraal.



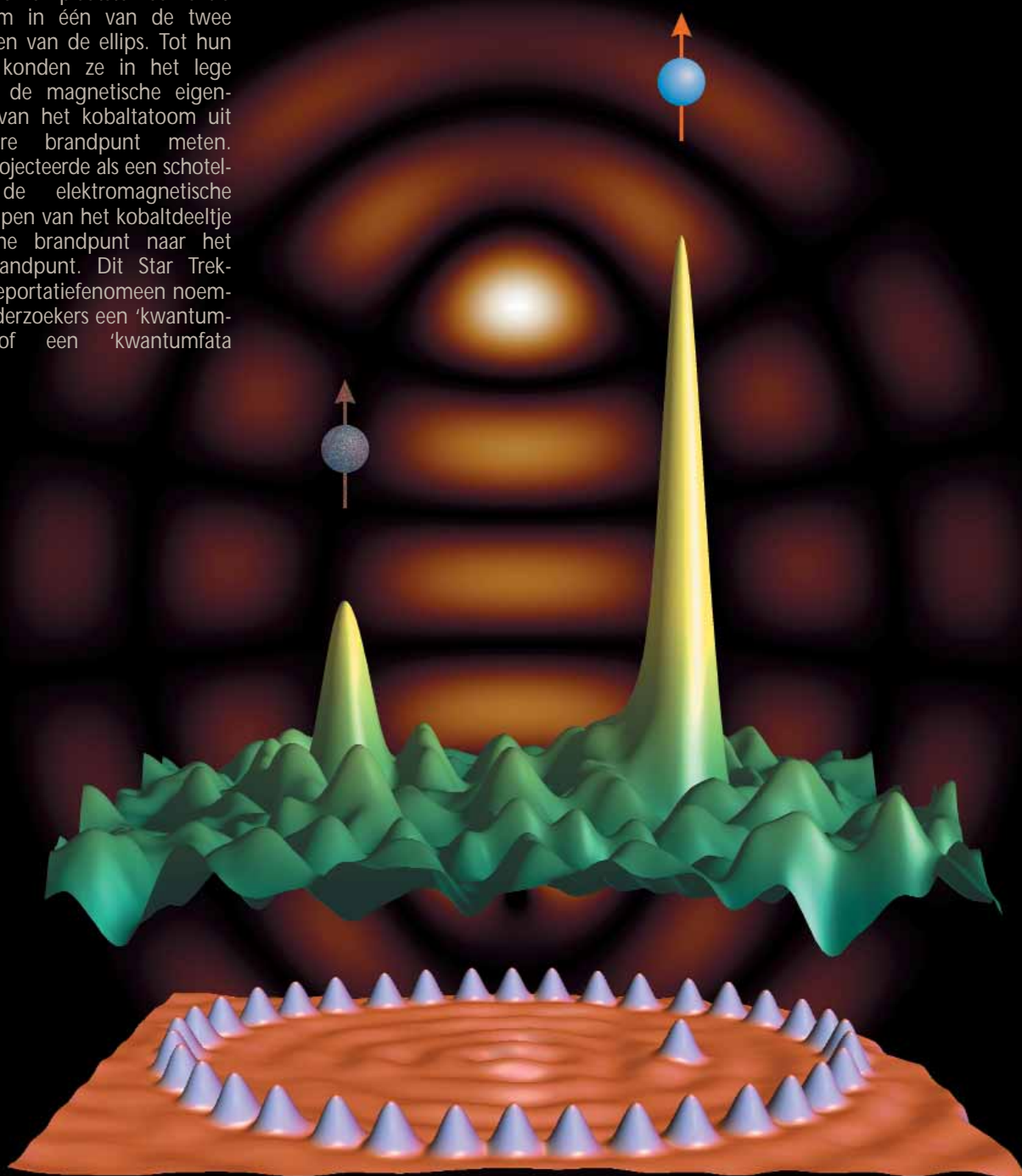
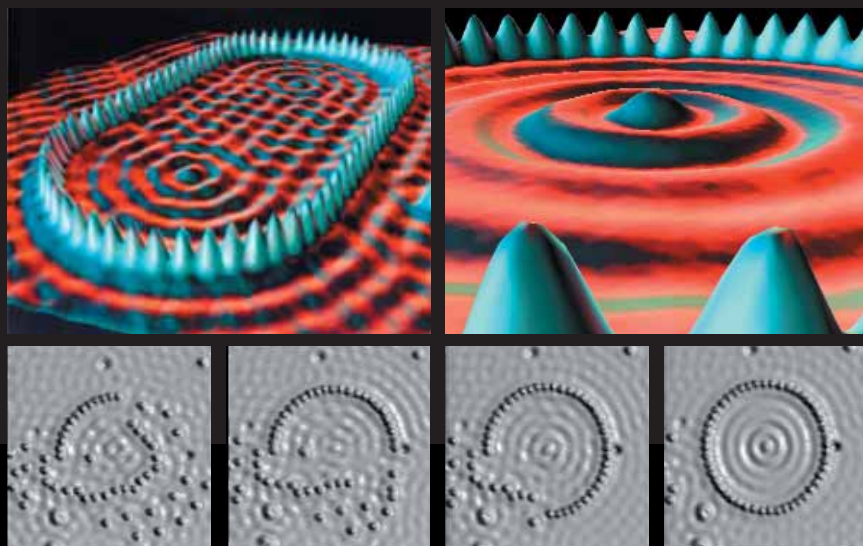
AFM-beeld van een rode bloedcel.



De fysica getest: atomaire arena en fata morgana

Met een scanning tunnelmicroscop (STM) plaatsten fysici van IBM 48 ijzeratomen in een ellips op een koperen oppervlak. Normaal kunnen de elektronen op een koperen oppervlak vrij bewegen, maar nu raken ze gevangen binnen de ellipsvormige arena van ijzeratomen. De onderzoekers bouwden gelijkaardige arena's in de vorm van een vierkant, een driehoek, een zeshoek en een cirkel.

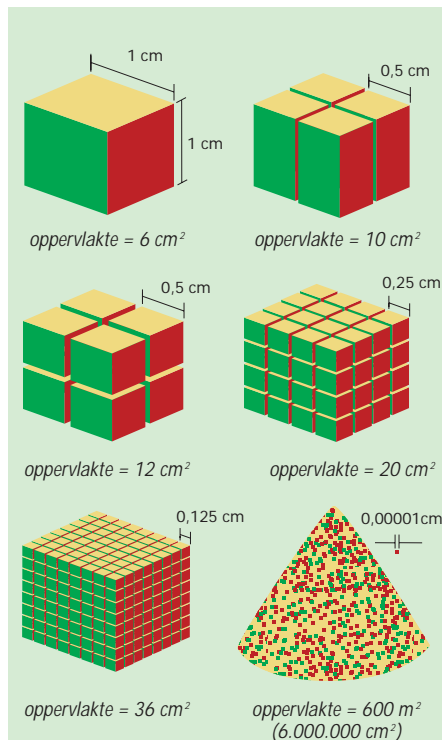
Daarna gingen ze nog een stapje verder: op een koperoppervlak maakten ze een ellipsvormige arena van kobaltatomen en plaatsten een extra kobaltatoom in één van de twee brandpunten van de ellips. Tot hun verrassing konden ze in het lege brandpunt de magnetische eigenschappen van het kobaltatoom uit het andere brandpunt meten. De ellips projecteerde als een schotelantenne de elektromagnetische eigenschappen van het kobaltdeeltje uit het ene brandpunt naar het tweede brandpunt. Dit Star Trek-achtige teleportatiefenomeen noemden de onderzoekers een 'kwantummirage' of een 'kwantumfata morgana'.



III Nanomaterialen

Van katalysator en kleurstof tot machineonderdeel

Klompjes materiaal bestaande uit minder dan 10 000 atomen of moleculen worden 'clusters' of nanodeeltjes genoemd. Onder meer de chemische industrie stelt veel belang in deze nanodeeltjes. Ze zijn bijzonder geschikt als katalysator om allerlei chemische reacties te begeleiden en te versnellen. Chemische reacties



Nanovolume met macro-oppervlakte

Een kubus met zijden van 1 cm heeft een totale oppervlakte van 6 cm². Naarmate men de kubus verdeelt in steeds kleinere blokjes, zal zijn oppervlakte steeds sterker toenemen. Als alle blokjes een doormeter hebben van 100 nm, hebben ze samengeteld de oppervlakte van een volleybalveld.

grijpen namelijk plaats aan het oppervlak van een katalysator en nanodeeltjes hebben als kenmerk precies hun relatief groot oppervlak (zie nanovolume met macro-oppervlakte).

Nanodeeltjes hebben nog andere interessante kenmerken. Zo kunnen de magnetische eigenschappen van een materiaal sterk veranderen als het in nanoformaat voorkomt. Een macroscopisch blokje palladium, natrium of kalium is niet magnetisch, maar in clustervorm krijgen ze alle drie wel magnetische eigenschappen. Dat kan heel toepasselijk zijn om bijvoorbeeld gegevens op te slaan op een magnetisch medium, zoals een harde schijf of een floppy.

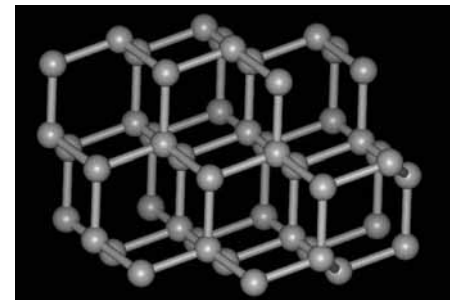
Andere nanomaterialen absorberen dan weer het licht bij een bepaalde golflengte. Daardoor geven ze kleur aan een vloeibare oplossing of een vaste stof. Het gebruik van nanopoeiers als pigment in ondermeer verven en glasramen is in feite al eeuwenoud, maar nu pas weten natuurkundigen dat de geabsorbeerde golflengte voor een deel afhangt van de grootte van de deeltjes. Zo is cadmiumselenide (CdSe) normaal een rood pigment maar het verandert in een gele kleurstof als de deeltjes tot nanoproporties worden herleid.

Dergelijke nanomaterialen leiden tot allerlei nieuwe toepassingen, wellicht te veel om op te noemen. Daarom is de lijst 'de nanomaterialen van vandaag en morgen' lang niet volledig.

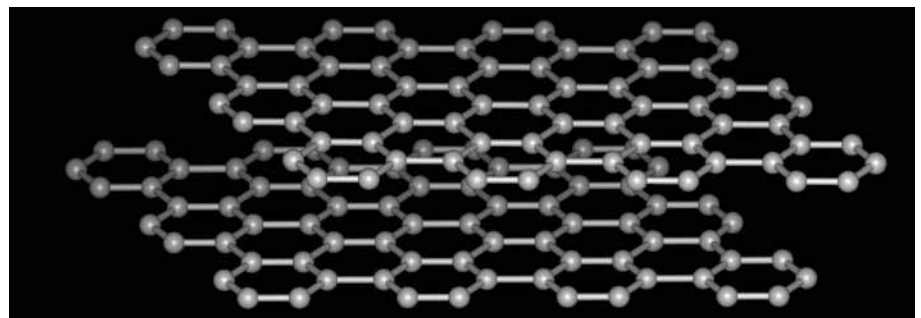
Nieuwe koolstoffamilie

Een nanomateriaal dat voortdurend in de belangstelling staat is fullereen. Fullereen is uitsluitend samengesteld uit koolstof. Doorgaans komt zuiver koolstof in de natuur in twee vormen voor: als diamant of als grafiet en die zijn nogal verschillend in fysische eigenschappen. Diamant is zeer hard en kostbaar terwijl grafiet zacht is en als potloodvulling of smeermiddel wordt gebruikt.

Het verschil tussen diamant en grafiet zit in de stapeling van de koolstofatomen. Diamant heeft een dichte stapeling in alle drie de dimensies, grafiet daarentegen bestaat uit opeengestapelde vlakken waarin de koolstofatomen gerangschikt zijn volgens regelmatige zeshoeken, een beetje vergelijkbaar met stukjes kippen-gaas die op elkaar zijn gestapeld. In het gaas zelf zijn de atomen sterk gebonden, maar tussen de verschillende opgestapelde lagen, heersen slechts zwakke bindingen. Daardoor schuiven de grafietlagen gemakkelijk over elkaar heen, wat meteen de werking in potloden en als smeermiddel verklaart.



diamant



grafiet

DE NANOMATERIALEN VAN VANDAAG EN MORGEN

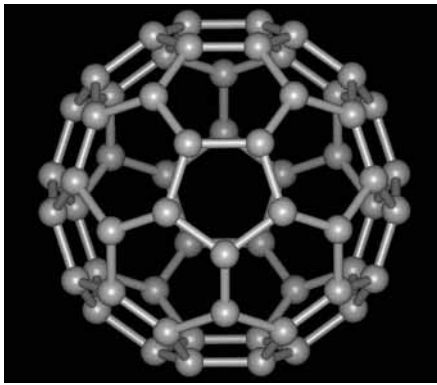


Energietechnieken

- slimme ramen die bij warm weer de zonnewarmte buiten houden
- zonnecellen met hoog rendement
- batterijen met hoge energiecapaciteit
- betere isolatiematerialen
- nanokristallijn opslagmateriaal voor waterstofgas

Auto-industrie

- corrosiebescherming van het koetswerk van auto's
- verwijdering van vervuilende stoffen in katalysatoren
- elektrische of hybride auto's die op accu's rijden, opgebouwd uit nanomaterialen



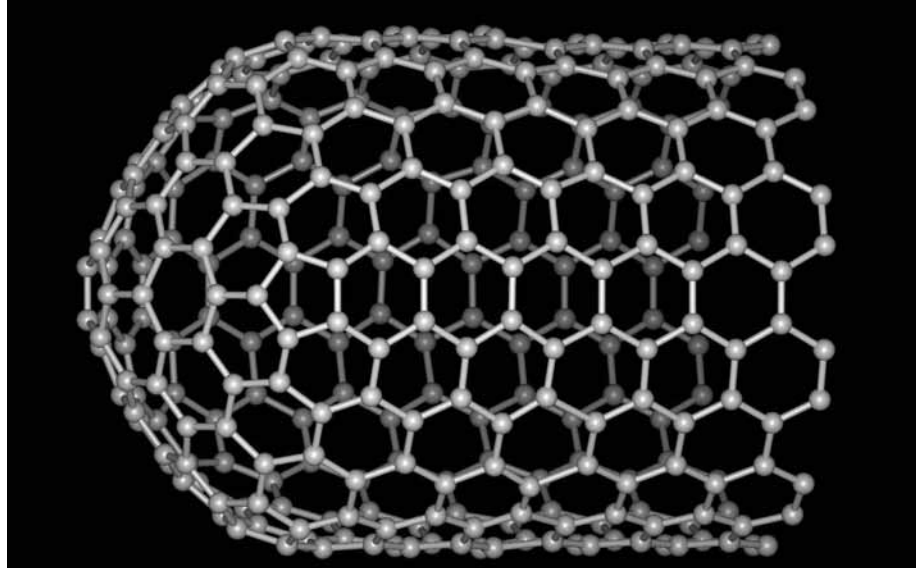
buckybal

In de jaren tachtig ontdekten wetenschappers echter een geheel nieuwe koolstoffamilie: de fullerenen. Daarin onderscheiden we de nanobuizen en de buckyballetjes. Om de structuur van nanobuizen te begrijpen, keren we even terug naar het kippengaaspatroon van grafiet. Een nanobuis bekom je door één grafietlaag op te rollen tot een kokertje met een diameter van slechts enkele nanometer. Bovendien kan men de buizen sluiten door enkele van de zeshoeken in de grafietlagen door vijfhoeken te vervangen: de vlakke grafietlaag krult dan op en sluit zich.

Plaats je echter 60 koolstofatomen in 12 regelmatige vijfhoeken en 20 zeshoeken (net als een lederen voetbal) dan krijg je een ander interessant koolstofmolecuul: het C₆₀-molecuul of de buckybal. Zo genoemd naar de Amerikaanse architect Buckminster Fuller die een gelijkaardige constructie gebruikte om koepels te bouwen. Van zijn achternaam is overigens de verzamelnaam 'fullerenen' afgeleid.

Hoge verwachtingen

Deze buckyballen vormen kubusvormige kristallen, met telkens één C₆₀-molecuul op de acht hoekpunten van de kubus en met een extra C₆₀-molecuul in het centrum. De technologische verwachtingen voor deze kristallen zijn hoog gespannen. In deze kristallen en eveneens in



koolstofbuis

strengen van nanobuisjes werd al supergeleiding gemeten en dan gaat het hart van elke fysicus sneller slaan.

Een materiaal is supergeleidend als het geen elektrische weerstand heeft. Het warmt dus niet op als er stroom doorheen gaat. Bovendien vertoont een supergeleider eigenaardige magnetische eigenschappen: hij gaat zweven boven een magneet. In Japan werd op basis van die eigenschap een trein ontwikkeld die boven de rails zweeft. Door het gebrek aan wrijving haalt deze trein snelheden tot meer dan 400km/h.

Helaas worden fullerenen slechts supergeleidend bij heel lage temperaturen: nanobuisjes beneden de 0,55K (-272,6°C), buckyballen bij een iets warmere 9K (-264,15°C). Het warmte-record staat nu op naam van een gecompliceerd keramisch materiaal dat 'al' supergeleidend wordt bij 164K (-109°C), hetgeen natuurlijk nog altijd super-siberisch koud blijft.

Gelukkig hebben fullerenen nog andere nuttige eigenschappen. De zwakke binding tussen de buckyballetjes in hun kubusvormige kristal, maken van deze materialen uitgelezen smeermiddelen. Anderzijds laat de holle structuur van het C₆₀-molecuul toe om er andere moleculen in op te sluiten. Zo hopen ontwikkelaars van medicijnen om geneeskrachtige moleculen in die ruimte te verbergen, zodat het geneesmiddel

pas op het gewenste tijdstip en plaats in het lichaam vrijkomt. De nanobuisjes zijn dan weer zeer buigzaam terwijl ze toch een heel hoge treksterkte hebben. Misschien zijn nanobuisjes wel de ideale koolstofvezels om te gebruiken in composietmaterialen. De meeste van deze composieten worden nu geproduceerd door aan koolstof-, glas- of natuurlijke vezels kunststofharsen als polyester of epoxy toe te voegen. Sommige van die composieten van vandaag zijn even sterk als metaal, en bovendien een stuk lichter. Het is echter niet uitgesloten dat de composieten van de toekomst worden opgebouwd uit strengen van nanobuisjes met daaromheen een hars van kunststof. Die composieten zijn misschien veel plooibaarder, maar toch even sterk.

Nanobuizen hebben echter ook een toekomst in de elektronica. Afhankelijk van de diameter en de oriëntatie van de zeshoeken ten opzichte van de as van het buisje gedragen de nanobuisjes zich als geleiders of halfgeleiders. Dat is voor elektronische toepassingen uitermate interessant, zeker als je weet dat door de defectvrije structuur van nanobuizen, de elektronen zich zonder warmteverlies kunnen verplaatsen.

Om echter al deze toepassingen van het laboratorium naar de maatschappij te brengen, moeten nieuwe productiemethoden worden ontwikkeld die toelaten om tegen een lage kostprijs een grote hoeveelheid fullerenen te vervaardigen met de gewenste karakteristieken.

DE NANOMATERIALEN VAN VANDAAG EN MORGEN

- hittebestendige bekleding van de cilinders
- sensoren die het brandstofverbruik optimaliseren
- sensoren in airbags en automatische remsystemen

Optica

- speciale lenzen met variabele brekingsindex
- krasbestendige kunststofbrillen, lenzen, zonnekleppen, koplampen en autoramen
- gekleurd glas

- deklagen voor brillen en autoramen die condensatie tegengaan

Katalyse

- lucht- en waterzuiveringstoestellen
- efficiëntere waspoeders
- zelfreinigende ramen

IV Nano-elektronica

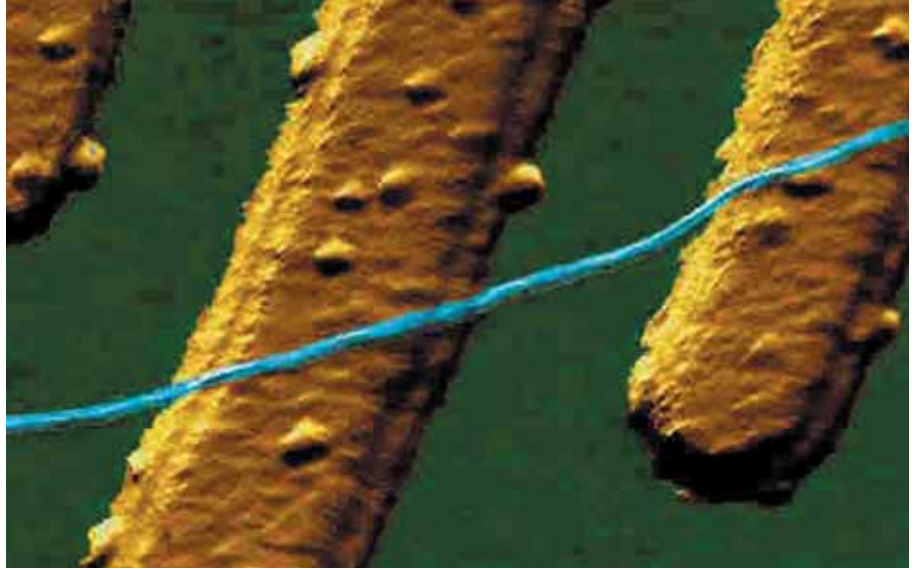
Moore 'à la limite'

De laatste vijftig jaar heeft de vooruitgang in computerkracht de wet van Moore gevolgd. Volgens die wet evolueert de technologie zodanig snel dat de dichtheid aan transistors op een chip elke 18 maanden verdubbelt en dat het beschikbare RAM (random access memory) elke drie jaar verviervoudigt. Daardoor functioneert de lichtgewicht, draagbare computer van vandaag sneller en efficiënter dan zijn gewichtig tafelbroertje van enkele jaren geleden. Weldra zal de wet van Moore echter niet langer opgaan. De weg van de micro-elektronica van vandaag naar de nano-elektronica van morgen ligt immers bezaait met allerlei hindernissen. In de eerste plaats omdat het etsen, de manier waarop microtransistors nu worden geproduceerd, niet toelaat om nanofijne structuren te vervaardigen. Bovendien betreedt de nano-elektronica het terrein van de kwantummechanica en daar gelden andere wetten dan in de klassieke fysica.

Tientallen universitaire onderzoekscentra, maar ook bedrijven als IBM, Hewlett-Packard, de Lucent Bell laboratoria en Siemens bezinnen zich hoe ze die moeilijke weg naar de nano-elektronica moeten bewandelen. Het is daarom onmogelijk om te voorspellen welke technieken over tien jaar de computer-industrie zullen veranderen. Wat volgt is dan ook een beperkt overzicht van enkele elektronische hoogtepunten van de laatste jaren.

De nanobuisjescomputer

De miniaturisatie van de componenten op computerchips zorgt er voor dat de stroombanen op deze chips, de bedrading, ook kleiner moet worden. Hoe kan

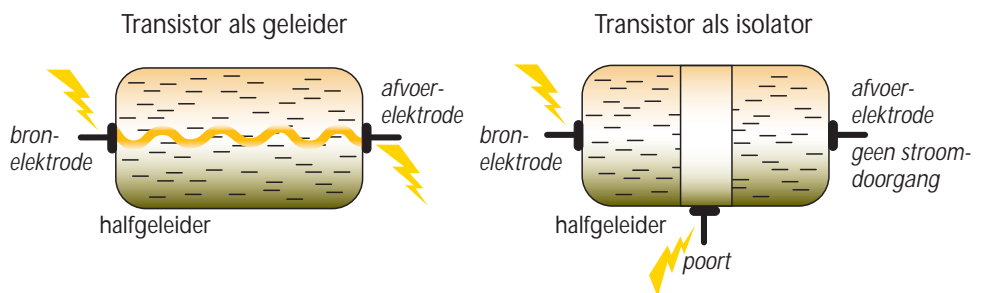


Een nanobuisje (blauw) verbindt twee goudelektroden.

je echter nanometer dunne draden maken die stroom geleiden, geen defecten bevatten, het hele zaakje niet opwarmen en niet breken na verloop van tijd? Mogelijk bieden nanobuisjes hier een oplossing. Zoals eerder vermeld, zijn nanobuisjes geleiders of halfgeleiders, afhankelijk van hun structuur. Bovendien zijn deze buisjes door de sterke binding tussen de atomen thermisch, mechanisch en chemisch erg stabiel.

Maar nanobuisjes zijn niet alleen een ideale 'bekabeling', je kan er ook elektrische schakelingen ofwel transistors mee maken. Zogenaamde Field Effect Transistors (FETs) zijn een soort schakeling waarin een stukje halfgeleidermateriaal

twee elektroden verbindt, de bron (source) en de afvoer (drain). De stroom die tussen deze twee contactpunten vloeit, wordt bepaald door een derde elektrode, de poort (gate). Door een spanning over de poort aan te leggen, kan de toestand van de halfgeleider van isolator naar geleider en omgekeerd veranderen. Op deze manier wordt de transistor af- of aangeschakeld, meteen de twee toestanden waarop de hele binaire computerwereld is gebaseerd. In de gangbare FETs van vandaag bestaat de halfgeleider uit silicium, in de FET van morgen is dat mogelijk een nanobuisje. De processor, het hart van de computer, zou dan bestaan uit tientallen miljoenen van zulke FETs op een oppervlak kleiner dan een postzegel.



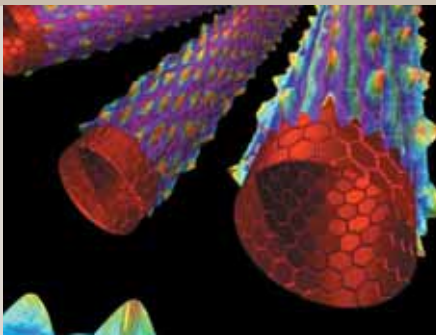
Van geleider naar isolator.

De transistor is opgebouwd uit een halfgeleidend materiaal waaraan drie elektroden zijn bevestigd: de bron- en afvoerelektrode en de poort. In normale toestand zal de stroom worden aangevoerd via de bronelektrode en afgeleid worden naar de afvoerelektrode. De transistor is dan een geleider en staat 'aan'. Wanneer er echter aan de poortelektrode een negatieve spanning wordt aangelegd, onderbreekt de stroomdoorgang en is de transistor een isolator of staat hij 'uit'.

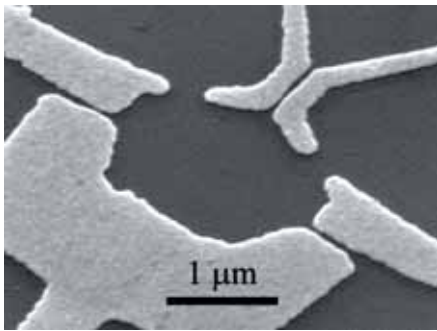
DE NANOTOEKOMST WAARAAN ELEKTRONICAFREAKS ZICH OPWARMEN

Elektronica

- enkel-elektrontunneltransistoren die nanodeeltjes gebruiken als kwantumstippen
- elektronisch geleidende nanokeramische materialen
- geleidende elektroden voor fotogeleiders en zonnecellen



- capacitieve materialen voor RAM
- magnetische geheugens
- magnetische isolatoren
- weerstanden
- supergeleidende materialen
- vloeibare magnetische O-ringen voor de afsluiting van computer diskdrives



De kwantumstip als elektronendoosje.

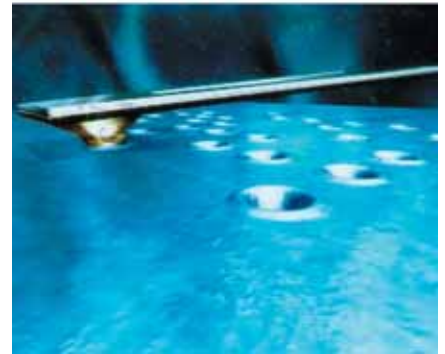
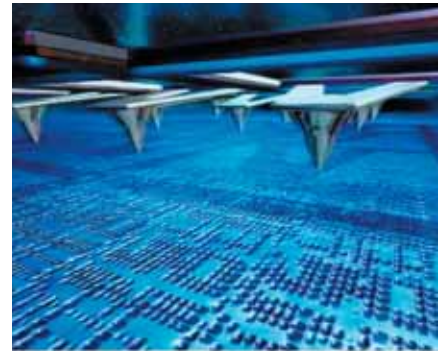
Kwantumstippen

Een ander 'hot item' in de nano-elektronica zijn de kwantumstippen of kwantumdots. Het zijn kleine structuurtjes uit halfgeleidend materiaal die zijn omgeven door elektroden. De stip fungeert als een vijvertje van elektronen. Het aantal elektronen in een dergelijke kwantumdot kan variëren van één tot enkele duizenden, terwijl de afmetingen van zo'n dot enkele nanometer tot een micrometer kan bedragen. Met andere woorden, de kwantumstip is als een klein doosje waarin men een aantal elektronen kan verbergen. Fysici hopen om ooit computers te bouwen waarbij het hart wordt gevormd door deze kwantumstippen. Deze computers rekenen dan op basis van individuele elektronen. Maar net zoals met vele andere toepassingen zit ook de computer met kwantumstippen nog in de onderzoeksfase. De productie van zulke

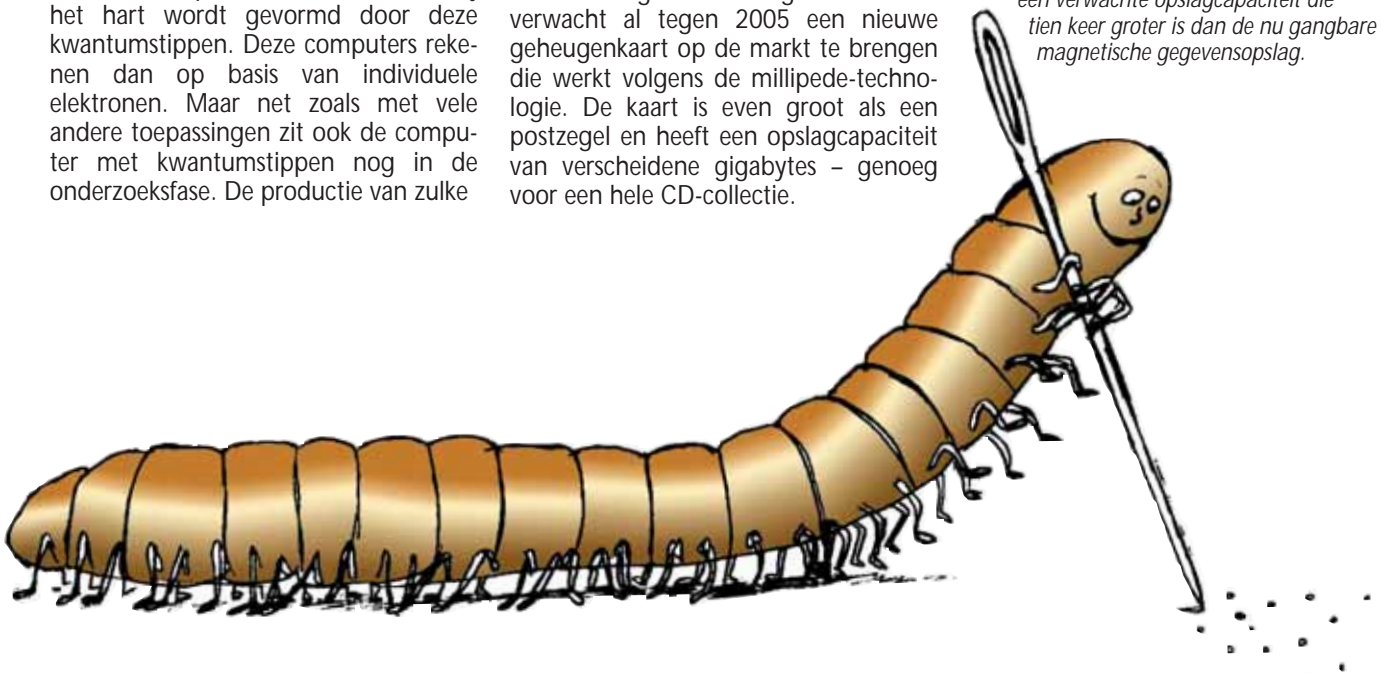
kwantumstippen met gelijke eigenschappen staat immers nog niet op punt. Bovendien kan men het gedrag van kwantumstippen op dit ogenblik enkel in de hand houden bij zeer lage temperaturen. Dat staat directe toepassingen nog in de weg.

Duizendpoot

Geloof het of niet, maar volgens IBM-onderzoekers uit Zürich is de ponskaart terug van weggeweest. Weliswaar is de ponskaart van de toekomst een nano-uitvoering van het stukje karton uit de jaren zestig en zeventig. Een uiterst fijne naald, zoals die van een atomaire krachtmicroscop (AFM), prikt nano-gaatjes in een kunststofplaat. Een gaatje staat dan in de binaire computertaal voor een '1', en waar geen gaatje is geprikt, staat een '0'. De onderzoekers hebben echter een toestelletje ontworpen waarop zich niet één naald, maar 4096 naalden bevinden. De onderzoekers noemen hun project toepasselijk de 'millipede' of 'duizendpoot'. Die duizendpoot prikt in hoog tempo een gigantische hoeveelheid gaatjes. Het patroon van gaatjes kan later door een gelijkaardige duizendpoot opnieuw worden afgetast en gelezen. IBM verwacht al tegen 2005 een nieuwe geheugenkaart op de markt te brengen die werkt volgens de millipede-technologie. De kaart is even groot als een postzegel en heeft een opslagcapaciteit van verscheidene gigabytes – genoeg voor een hele CD-collectie.



Een naald van de millipede of duizendpoot prikt een gaatje in een stukje kunststof (onder). Een plaats met een gaatje staat voor de binaire code '1', een plaats zonder voor '0'. Door enkele duizenden minuscule naalden naast elkaar te monteren (boven) ontstaat een toestel dat binaire gegevens kan opslaan met een verwachte opslagcapaciteit die tien keer groter is dan de nu gangbare magnetische gegevensopslag.

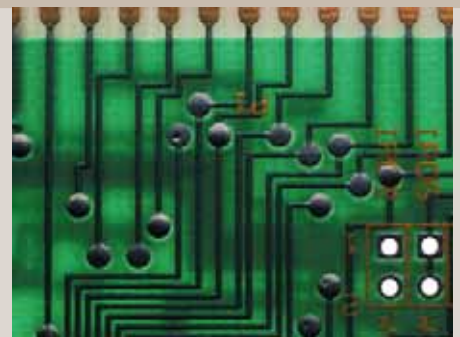


DE NANOTOEKOMST WAARAAN ELEKTRONICAFREAKS ZICH OPWARMEN

Opto-elektronica

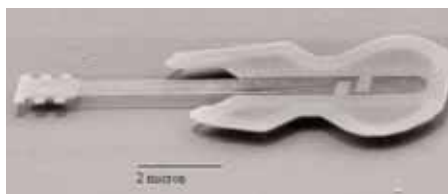
- nanofosfor voor betaalbare hoge-definitie-tv en platte monitoren
- elektroluminescent en nanokristallijn silicium voor opto-elektronische chips en nieuwe types kleurentelevisie
- efficiënte lichtuitzendende dioden

- lasers die nanodeeltjes gebruiken als actief verstrooiingsmedium
- optische schakelaars
- doorzichtige geleidende lagen
- driedimensionale optische geheugens



V Nanomachines

Echte nanomachines hebben we vandaag nog niet, maar misschien zijn we er niet ver meer vanaf. Op microschaal een ketting en tandwielen laten draaien, is nu reeds mogelijk. Zelfs gitaarspelen kan: de gitaar is 10 micrometer lang en telt zes snaren van ongeveer 50 nanometer breed. De naald van een rastertunnel-microscoop kan de snaren beroeren. Helaas zijn de voortgebrachte klanken te hoog voor ons gehoor. Deze gitaar bestaat uit silicium, het halfgeleidermateriaal waarmee ook computerchips worden gebouwd. De gitaar is een ludieke toepassing van een nieuwe techniek die structuren op de nanometerschaal vervaardigt door met een fijne bundel van elektronen in het oppervlak van een materiaal te 'schrijven'. Om echter nanomachines op grote schaal te produceren, is er nog jaren onderzoek nodig.



VI Nanogeneeskunde en biologie

In de nanodroomwereld van Eric Drexler beschikt de geneeskunde over geheel nieuwe gereedschappen. Chirurgie op cellulaire en zelfs moleculaire schaal wordt mogelijk. Er komen robots die de cellen repareren met behulp van een stel minuscule armen en vingers. De robot gaat de cel binnen, spoort de beschadigde onderdelen op, repareert ze, verlaat de cel en bezoekt een volgende cellulaire patiënt. Deze robots herstellen DNA en eiwitten. Bovendien vernietigen ze kankercellen, maken ze virussen en giftige chemicaliën onschadelijk en verwijderen ze vernauwingen in de bloedvaten. Ze gaan zelfs veroudering tegen. Met andere woorden: nanotechnologie op zijn Drexlers schenkt ons het eeuwige leven.

Diagnose

Ook deze dromen van Drexler zijn wellicht bedrog, maar toch wordt nanotechnologie een belangrijke pijler in de gezondheidszorg van morgen. Zo is de miniaturisatie van analysetoestellen, zogenaamde 'labs-on-a-chip' al heel ver gevorderd. Deze toestelletjes voeren op een snelle en gevoelige manier een bio-



Een 'lab-on-a-chip' op een stroompje. Het toestelletje is in staat een bloedanalyse uit te voeren.

chemische test uit. Daarmee zal de arts binnenkort een groot aantal bloedonderzoeken in zijn kabinet uitvoeren, op enkele minuten tijd en voor een kostprijs van slechts enkele euro's. Bovendien volstaat één druppeltje bloed, nu moet de dokter een hele tube naar een laboratorium sturen waar een duur, tijdrovend en arbeidsintensief onderzoek volgt.

Onder meer het Belgische onderzoekscentrum IMEC ontwikkelt 'labs-on-a-chip' waarmee de huisarts binnen een half uurtje kan vaststellen of een patiënt prostaatkanker heeft. De chip detecteert of er in het bloed van de patiënt eiwitten zitten die een groeiende tumor 'verraden'. Andere sensoren gaan na welke types RNA-moleculen er in een cel tot expressie komen of zelfs of een patiënt genetische fouten in zijn DNA heeft. Dergelijke RNA- of DNA-chips, ook micro-arrays genoemd, worden nu al gecommercialiseerd.

Slimme geneesmiddelen

In feite behoren deze 'labs-on-a-chip' en micro-arrays nog steeds tot de microtechnologie en zijn het geen nanomachines. Toch zijn veel onderzoekers ervan overtuigd dat er wonderlijke toepassingen zullen voortvloeien uit de samensmelting van de biotechnologie en nano-elektronica. De microtoestelletjes van vandaag zijn volgens hen de voorbode van echte nanosensoren. Die

DE NANOMATERIALEN VAN VANDAAG EN MORGEN



Medisch

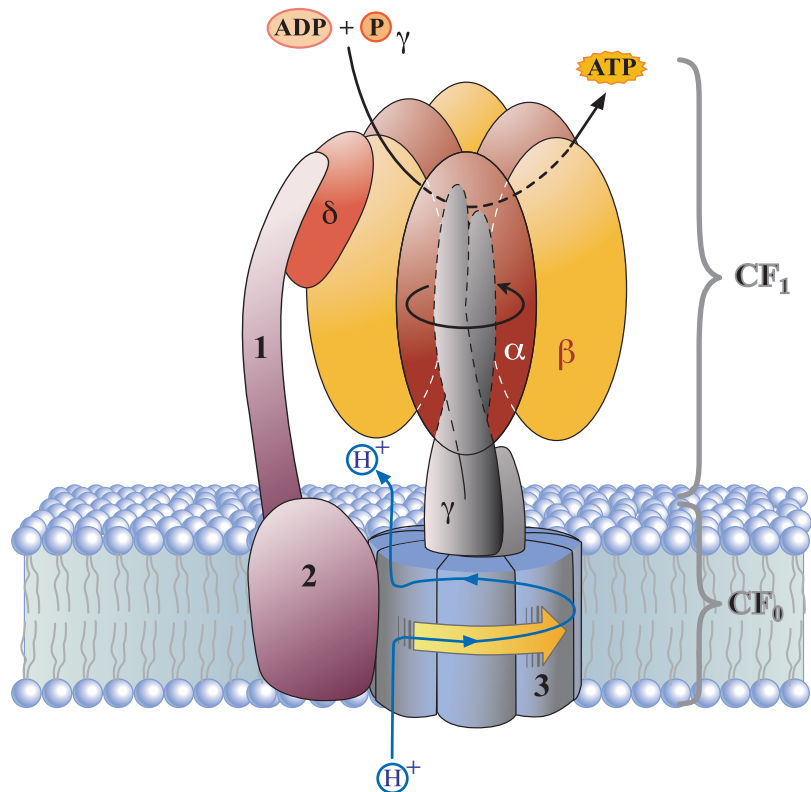
- zonnebrandcrème
- medische implantaten met lange levensduur die niet worden afgestoten door het lichaam
- deklagen voor medische toepassingen

- slimme pillen die de juiste dosis vrijgeven op het gepaste ogenblik

sensoren vormen een onderdeel van intelligente geneesmiddelen die in het lichaam circuleren en op het juiste ogenblik de juiste dosis medicijn afleveren. Nemen we even als voorbeeld een intelligente pil voor diabetespatiënten. Die pil is voorzien van een nanosensor die continu de hoeveelheid glucose in het bloed meet. Wanneer de concentratie aan glucose te hoog wordt, geeft de pil automatisch een hoeveelheid insuline vrij, waardoor de glucoseconcentratie automatisch daalt. Voor de diabeticus is zo'n intelligent geneesmiddel comfortabeler dan een dagelijkse inspuiting met insuline. Dergelijke geneesmiddelen zijn de ultieme droom van elk farmaceutisch bedrijf. Maar intelligente geneesmiddelen met nanosensor zijn nog niet voor morgen.

Dichterbij staan medicijnen die zijn ingepakt in nanopartikels of microvesikels (vloeistofdruppeltjes omgeven door een laagje lipiden). Eenmaal opgenomen in het lichaam worden de deeltjes of vesikels langzaam afgebroken, waardoor steeds een constante hoeveelheid medicijn vrijkomt. Sommige van die partikels kunnen gedurende maanden 'actief' blijven. Men denkt er bijvoorbeeld aan om op deze manier vaccins toe te dienen. Het immuunsysteem van ons lichaam wordt dan gedurende lange tijd, maanden of zelfs jaren, gestimuleerd door de langzame vrijzetting van het actieve bestanddeel. Hierdoor is het opnieuw inenten, de zogenaamde 'booster', niet meer nodig.

Ook voor gen- en eiwittherapie denken onderzoekers steeds meer aan nanomaterialen als dragermateriaal. Stukjes gen of hele eiwitten zouden worden ingekapseld in structuurtjes die nanoporiën hebben. De biomoleculen zouden wel doorheen de poriën kunnen ontsnappen, maar de cellen van het afweersysteem (lymfocyten en macrofagen), die normaal de vreemde eiwitten vernietigen, geraken niet aan het depot van therapeutische biomoleculen.



Het ATP-synthetase werkt als een roterende motor die een ADP omzet in een ATP-molecuul. De motor wordt aangedreven door een stroom van waterstofionen.

Biologie als inspiratiebron

De cel is op zich een onschatbare inspiratiebron voor de nanotechnoloog. Uitgaande van heel eenvoudige basismoleculen, slechts enkele atomen groot, assembleert een cel heel complexe nanostructuren zoals DNA- en RNA-moleculen, eiwitten, lipiden en koolwaterstoffen. Bovendien plaatst de cel die nanostructuren zo precies in elkaar, dat ze niet alleen haar eigen overleving in de hand heeft, maar ook een exacte kopie van zichzelf kan maken. De cel en zijn componenten is met andere woorden het perfecte model van de 'assembler'.

Maar ook individuele eiwitten vormen unieke voorbeelden van nanomachines. In de cel hebben eiwitten heel specifieke functies: ze zorgen voor de katalyse van chemische reacties, transport en opslag van energie, gecoördineerde beweging, immuniteitsbescherming, mechanische steun, elektrische en chemische communicatie binnenin en tussen de cellen onderling en nog veel meer. Allemaal eigenschappen waarin nanotechnologen zijn geïnteresseerd.

Nemen we even als voorbeeld een relatief eenvoudig eiwitcomplex zoals het ATP-synthetase. Dit enzym zet een molecuul met 'lage chemische energie', ADP, om in een hoogenergetisch molecuul, ATP. Het complex functioneert hierbij als een moleculaire motor waarbij de gamma-subeenheid van het eiwit als een krukas in de andere subeenheden draait. In de draaibeweging wordt aan het ADP een fosfaatgroep toegevoegd en ontstaat ATP. De draaiing wordt aan de gang gebracht door een doorstroming van waterstof- of natrium-ionen.

Even goed kunnen nanotechnologen uit de natuur leren hoe cellen op moleculaire schaal elektrische en chemische communicatiesignalen uitzenden en opvangen, het zonlicht absorberen en omzetten in chemische energie, eiwitten over elkaar laten schuiven waardoor beweging op macroschaal ontstaat, enzovoort. Kortom, de natuur is een fantastische inspiratiebron voor de nanotechnologie.

DE NANOMATERIALEN VAN VANDAAG EN MORGEN

Allerlei

- taaiere en hardere snijwerktuigen
- lichte onderdelen met buitengewone sterkte en veerkracht voor de lucht- en ruimtevaart en de bouw
- gasdichte materialen
- vuurbestendige deklagen



- thermo-elektrische materialen
- keramische membraanfilters voor energie-efficiënte scheidingsmethoden van oa. melkproducten en bieren
- zelfsmurende deklagen

Epiloog

Al bij al zal het in de 21ste eeuw een uitdaging blijven om de nanowereld verder te ontwikkelen en deze te verbinden met de macrowereld waarin wij leven. Bij die ontwikkeling hoort ook fundamenteel wetenschappelijk onderzoek. Want de echte verrassingen zullen pas volgen als we de fundamentele eigenschappen van de nieuwe nanomaterialen en componenten begrijpen en beheersen. Pas dan zullen de toepassingen van de nanotechnologie op grote schaal doordringen in ons dagelijkse leven.

Nano wordt 'big business'

Alhoewel de meeste toepassingen van de nanotechnologie nog niet voor vandaag zijn, wordt nanotechnologie stilaan een echte industrietak. Vorig jaar telde Tim Harper, voorzitter van de 'European NanoBusiness Association', in de VS 240 bedrijven die zich uitsluitend toelagen op nanotechnologie. Europa heeft er 125 en Azië 70. Daarbij telde hij niet eens de grote multinationals als IBM, NEC, Lucent, Hitachi en Siemens die belangrijke onderzoeksinspanningen leveren in de nanotechnologie. De cijfers tonen aan dat vele duizenden mensen hun brood verdienen met deze nieuwe technologie.

Harper schat verder dat er in 2002 over heel de wereld ongeveer vier miljard euro werd gespendeerd aan het onderzoek in de nanotechnologie. Een groot deel daarvan, ongeveer een half miljard dollar, werd verdeeld door het Amerikaanse 'National Nanotechnology Initiative', in 2000 opgericht door Bill Clinton. Bovendien vloeit er in de VS ook veel geld naar nano-onderzoek voor militaire toepassingen, want ook militairen hebben de nanotechnologie ontdekt.

Nanobelgen

In België zijn er op verschillende niveau's initiatieven waarbij de overheid het onderzoek naar nanotechnologie stimuleert. Zo is er in het Franstalige landsdeel de 'Direction générale des Technologies de la Recherche et de l'Energie' (Dgtre) die in de voorbije drie jaar 4,4 miljoen euro heeft besteed aan onderzoek in nanotechnologie. Bovendien startte Waals minister voor Economie, KMO's, Onderzoek en Nieuwe Technologieën, Serge Kubla, vorig jaar een nieuw onderzoeksprogramma dat uitsluitend is gericht op nanotechnologie. Voor dat programma heeft hij een budget uitgetrokken van 13,2 miljoen euro, gespreid over 4 tot 5 jaar.

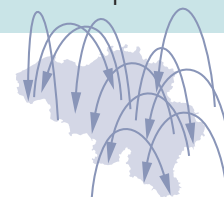
Ook aan Vlaamse kant hebben de ministers Dirk Van Mechelen, verantwoordelijk voor Financiën en Begroting, Innovatie, Media en Ruimtelijke Ordening en Marleen Vanderpoorten, verantwoordelijk voor Onderwijs en Vorming gespeeld met het idee om een evenwaardig onderzoeksprogramma voor nanotechnologie op te starten. Het plan is echter nog niet concreet geworden omdat beide ministers ondertussen een grootschalig financieringskanaal voor 'strategisch basisonderzoek' (SBO) hebben ontwikkeld. Daarin kan een groot platform voor nanotechnologie zich inpassen.

Op federaal niveau ondersteunen de DWTC (de Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden) wel voluit het onderzoek in de nanotechnologie (zie voorwoord). Via het financieringskanaal van de Interuniversitaire Attractie Polen (IUAP) werden in 2002 twee grote samenwerkingsverbanden opgezet onder de coördinatie van de Leuvense professoren Bruynseraede en De Schryver respectievelijk. Deze netwerken verzamelen de 'fine fleur' van de Belgische academische nanotechnologen. De hoofdactiviteiten van beide netwerken liggen in de domeinen van de halfgeleidende kwantumstippen, metallische clusters, heterostructuren, supergeleidende en magnetische nanosystemen, nanostructuren uit koolstof, supramoleculaire chemie, enzovoort.

Toch blijft fysicus Yvan Bruynseraede, de peetvader van de Belgische nanotechnologie, heel formeel: "In België zit nanowetenschap nog in een pril stadium. Willen wij een sleutelpositie innemen in deze technologie van de toekomst, dan is er dringend actie nodig. De huidige initiatieven zijn enkel voldoende om de grondvesten te leggen van een nanowetenschapsnetwerk."



FEDERALE DIENSTEN VOOR WETENSCHAPPELIJKE,
TECHNISCHE EN CULTURELE AANGELEGENHEDEN
SERVICES FEDERAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES,
TECHNIQUES ET CULTURELLES
<http://www.belspo.be>



Meer lezen:

'*Nanotechnologie, op weg naar een moleculaire bouwdoos*' door Arthur ten Wolde en anderen, Deel 63 van de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek.
'*Nanotech, the science of the small gets down to business*', Scientific American, Special Issue, September 2001.

'*National Nanotech Initiative*', <http://www.nano.gov/>
'*The Institute of Nanotechnology*', <http://www.nano.org.uk/>
'*Nanotechnologie*', Stichting Toekomstbeeld der Techniek, <http://www.stt.nl/stt2/projecten/nano/nano.htm>

- 20 nm dunne folie voor het verpakken van voedsel
- gemakkelijk schoon te maken oppervlakken, bvb. anti-graffiti-deklagen voor treinen, glazen- en bakstenen muren
- versterkte kunststofvloeren
- kogelvrije vesten





Interuniversitaire attractiepolen



Het programma Interuniversitaire attractiepolen (IUAP) is samengesteld uit excellerende netwerken voor fundamenteel onderzoek en heeft als doel universitaire speerpuntteams uit beide gemeenschappen ertoe aan te zetten op duurzame en gestructureerde wijze samen te werken. De IUAP's hebben als taak die teams te versterken die al erkenning genieten in de internationale wetenschappelijke gemeenschap, maar ook jonge teams in staat te stellen profijt te trekken van het excellerende milieu van een netwerk en zijn internationale uitstraling.

De eerste fase van het programma IUAP werd opgezet in 1987. De vijfde fase is op 1 januari 2002 van start gegaan en loopt af op 31 december 2006. Bij deze fase

zijn 36 netwerken en 262 teams betrokken en worden heel wat onderzoekgebieden bestreken zoals bijvoorbeeld de nieuwe materialen, de fotonica, de robotica, de behandeling tegen kanker en diabetes, de eiwittechnieken, het menselijk genetisch materiaal, de astrofysica, de kinderrechten, de macro-economie, de geschiedenis van de Middeleeuwen, de archeologie... Ieder netwerk omvat op zijn minst drie teams uit verschillende instellingen (universiteiten of federale wetenschappelijke instellingen) en omvat minstens één team afkomstig van elk van de twee grote taalgemeenschappen van ons land.

Het programma IUAP-V beschikt over een begroting van zowat 112.000.000 euro voor 5 jaar. Zo'n 2,5% van die enveloppe is bestemd voor de deelname van teams uit een niet-Belgische universiteit of publieke onderzoekinstelling uit de Europese Unie. Het openstellen van het programma IUAP voor een samenwerking met instellingen uit andere Europese landen is een stap vooruit in de inpassing van het Belgische wetenschapspotentieel in de Europese onderzoekruimte.

De IUAP's vormen een van de meest betekenisvolle stimuli voor het fundamenteel onderzoek in België, niet alleen gezien de belangrijke financiële middelen die ervoor worden uitgetrokken, maar ook gezien de nadruk die gelegd wordt op de interuniversitaire samenwerking.

Dossier op komst:



Water



49

"MENS" in retrospectie

Reeds verschenen dossiers, nog verkrijgbaar zolang de voorraad strekt:

- MENS 1: "Wie is bang voor dioxinen?"
- MENS 2: "Leven en sterven met chloorfenolen"
- MENS 3: "Zware problemen met zware metalen?"
- MENS 4: "De aardbol op hol"
- MENS 5: "Over kruid en onkruid"
- MENS 6: "Verpakking of ballast?" (uitgeput)
- MENS 7: "Snijden in eigen vlees"
- MENS 8: "In de schaduw van AIDS"
- MENS 9: "Kat en hond in het leefmilieu"
- MENS 10: "Water, bron van leven... en dood"
- MENS 11: "Chloor: pro en contra"
- MENS 12: "Verpakking: een zegen voor het leefmilieu?"
- MENS 13: "Kanker & Milieu"
- MENS 14: "Plastiek: pro en contra" (uitgeput)
- MENS 15: "Wees goed jegens dieren"
- MENS 16: "Hoe ontstaat een geneesmiddel?"
- MENS 17: "Moet er nog mest zijn?"
- MENS 18: "Bronnen van energie" (uitgeput)
- MENS 19: "Milieubalansen"
- MENS 20: "Mens en verslaving" (uitgeput)
- MENS 21: "Afval inzamelen: een kunst"
- MENS 22: "Wees goed jegens proefdieren"
- MENS 23: "Risico's van kankerverwekkende stoffen"
- MENS 24: "Duurzaam bouwen met kunststoffen"
- MENS 25: "Recycleren moet je leren"
- MENS 26: "Gentechnologie op ons bord" (uitgeput)
- MENS 27: "Chemie: basis van leven"
- MENS 28: "Vlees, een probleem?"
- MENS 29: "Beter voorkomen dan genezen"
- MENS 30: "Biocides, een vloek of een zegen?"
- MENS 31: "Het transgene tijdperk"
- MENS 32: "Jacht op ziektegenen"
- MENS 33: "Eet en beweeg je fit"
- MENS 34: "Genetisch volmaakt?"
- MENS 35: "Pseudo-hormonen: vruchtbaarheid in gevaar"
- MENS 36: "Duurzame Ontwikkeling"
- MENS 37: "Allergie in opmars!"
- MENS 38: "Vrouwen in de wetenschap"
- MENS 39: "Gelabeld vlees, veilig vlees!"
- MENS 40: "Een tweede leven voor kunststoffen"
- MENS 41: "Stressssss"
- MENS 42: "Voedselveiligheid, een complex verhaal"
- MENS 43: "Het klimaat in de knoei"
- MENS 44: "Voorbij de grenzen van het ZIEN"
- MENS 45: "Biodiversiteit, de mens als onruststoker"
- MENS 46: "Biomassa, de groene energie"
- MENS 47: "Het voedsel van de goden: chocolade"

Land- en Tuinbouw : meer dan voeding?

Biomassa, niet-voedingsgebonden grondstoffen uit land- & tuinbouw
25 APRIL 2003 - VLAAMS PARLEMENT



- 9u00 Ontvangst en koffie
- 9u30 Probleemstelling en schematisch overzicht
Roger Cornelissen, Voorzitter Vilt
- 9u45 Europees en mondiaal perspectief
Jacques Van Outryve, Centrum Agrarische en Bio-ethiek
- 10u20 Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector
Frank Nevens, bedrijfsleider Steunpunt Duurzame Landbouw
- 11u00 Case: Oprins Bamboekwekerij te Rijkevorsel - Jan Oprins
- 11u40 Panel : 'Land- en tuinbouw : meer dan voeding?'
 - Overheid: Wannes Keulemans, adviseur Kabinet Vera Dua
 - Maatschappelijke visie: Prof. Herman De Dijn, filosoof, KULeuven
 - Consument/milieu: Bart Martens, Bond Beter Leefmilieu
 - Landbouwsector: Noël Devisch, voorzitter Boerenbond
 - Moderator: Rik Donckels, Gedelegeerd Bestuurder Cera Holding
 - Disputant: Prof. Dirk Reheul, Landbouwfaculteit U. Gent
- 12u40 Slotwoord door Vera Dua, Vlaams minister voor Leefmilieu en Landbouw
- 13u00 Receptie en lunch

Inschrijven kan, door vóór 11 april te faxen of te mailen naar onderstaand adres en 20 EUR te storten op rekening KBC 730-0044051-09. Bij tijdige inschrijving en storting worden de toegangskaarten toegestuurd.

Sci Press - Te Boelaarlei 23 - 2140 Antwerpen
Tel: 03 322 74 69 - Fax: 03 321 02 77 - e-mail : info@scipress.be