

Småt har aldrig været større.

NANOTEKNOLOGI: På Aarhus Universitet har vi for nyligt indviet det nye tværvideenskabelige, nanoteknologiske forskningscenter iNANO, og d. 1. september i år starter de første studerende på en helt ny uddannelse inden for nanoteknologi.

Kronik fra JP-Århus, Søndag d. 9/6-2002.



af Flemming Besenbacher, professor dr.scient., leder af Interdisciplinært Nanoscience Center ved Aarhus Universitet (iNANO), medlem af bl.a. Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd,

Email: fbe@inano.au.dk.

På Strøget i Århus kan man indimellem møde en mand, der kan kunsten at skrive ens navn på et riskorn. At kunne skrive sådanne millimeter små bogstaver aftvinger respekt, men for os, der arbejder inden for den disciplin, der kaldes nanoteknologi er bogstaverne faktisk enorme! Hvis vi forestiller os, at man formindsker disse bogstaver tusind gange, bliver de mikrometer store – det er så småt, at de kun lige præcis kan ses i et almindeligt mikroskop. Tænker vi os dem yderligere formindsket tusind gange, bliver bogstaverne en *nanometer* store og vil størrelsesmæssigt befinde sig i atomernes og molekylernes verden - en nanometer er ca. fem gange afstanden mellem atomerne i molekylære forbindelser eller faste stoffer. Sådanne bogstaver ville virkelig være nærmest ufatteligt små – med dem ville man kunne skrive indholdet af bibelen 300 gange på enden af et hår!

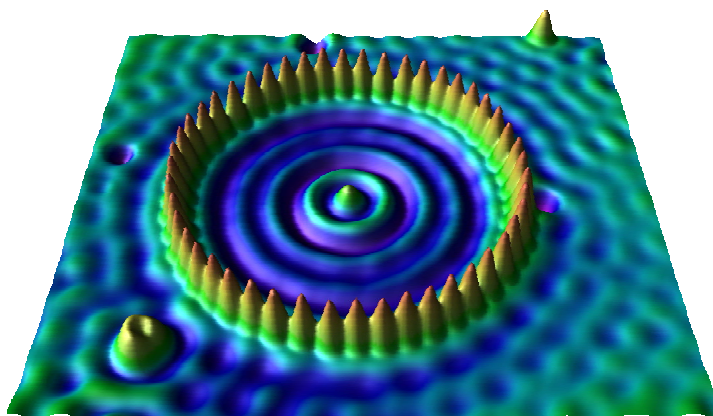
Tankeeksemplet illustrerer det enorme potentiale – i dette tilfælde for informationslagring – der ligger i at kunne kontrollere de mindste bestanddele af alt stof, nemlig atomerne. Den teknologi, der skal til for at kunne gøre netop dette – nanoteknologien – eksisterer til en vis grad allerede og udvikler sig med overvældende hast netop i disse år. De færreste århusianere har hørt om nanoteknologi i dag, men det vil have ændret sig radikalt om 10 år. I forskerkredse verden over er *nano* i dag et af de ord, som man hører oftest. Det spås, at nanoteknologi vil åbne uanede muligheder inden for f.eks. medicin, materialevidenskab, informations- og kommunikationsteknologi og på miljøområdet, og det er sandsynligt, at nanoteknologi vil komme til at påvirke vores dagligdag på mange måder inden for en overskuelig tidshorisont. Nanoteknologi betragtes som afgørende i bestræbelserne på at opretholde og forbedre den økonomiske og teknologiske konkurrencedygtighed i det 21. århundrede og forventes i verdens førende industrilande at danne basis for ”den næste industrielle revolution”. Derfor er interessen for nanoteknologi i de senere år skærpet voldsomt i bl.a. USA og Japan, og nanoteknologi er et af de afgørende indsatsområder i EU’s kommende 6. Rammeprogram for forskning og udvikling.

”Plenty of room at the bottom”

Nanoteknologiens muligheder blev i en vis forstand forudsagt allerede i 1959, hvor den amerikanske fysiker og nobelpristager Richard Feynmann holdt en meget visionær og berømt forelæsning med titlen ”*There is plenty of room at the bottom*”, hvori han påpegede, at intet i naturlovene forhindrer os i at manipulere med atomer og molekyler, og at man i fremtiden ville blive i stand til bygge kunstige strukturer med nye fysiske, kemiske og

biologiske egenskaber, som ville være til stor nytte inden for et bredt spektrum af anvendelsesområder. Feynmann fik ret, og det hurtigere end han måske selv havde troet!

Et gennembrud i forskningen inden for nanoteknologi kom i 80'erne, da to forskere ved IBM's forskningscenter ved Zürich udviklede et nyt og helt enestående mikroskop, det såkaldte Skanning Tunnel Mikroskop, til dagligt kaldet STM. Et STM har en fantastisk forstørrelsesgrad, der gør det muligt at se de enkelte atomer og molekyler på overfladen af materialer. I vores forskningsgruppe på Aarhus Universitet har vi videreudviklet dette instrument i mere end 10 år, og f.eks. anvendt det til at følge dynamiske processer på overflader og visualisere dem i form af STM-film (eksempler kan ses på internettet: www.inano.dk/stmmovies).



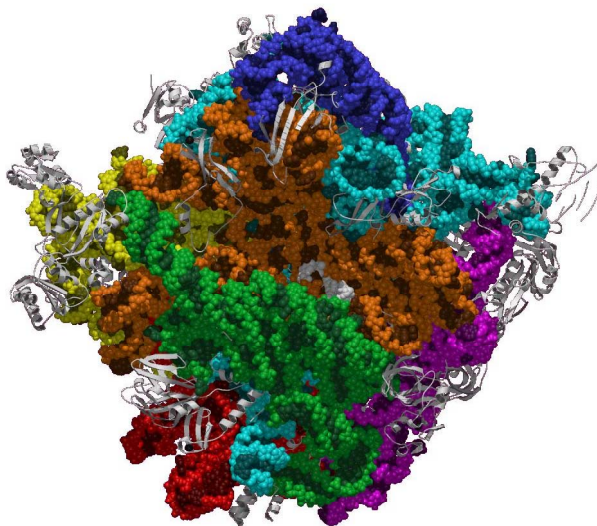
Ved at bruge STM-nålen kan man på helt enestående vis skubbe og trække atomer rundt på overfladen af et materiale. På denne måde kan man danne de mindste strukturer, man kan tænke sig, bestående af kun ganske få atomer. Eksemplet viser en ring dannet af 48 jern-atomer på en kobberoverflade. Inde i ringen ses en stående bølge i overfladens elektronstruktur – et slående eksempel på at elektronens bølgenatur og kvantemekaniske fænomener spiller en vigtig rolle på nanoskala. Ringen blev fremstillet af forskere hos IBM i USA i begyndelsen af halvfemserne og billedet af den har udviklet sig til et symbol på de muligheder for kontrol på atomar skala som nanoteknologien giver.

Ud over at give et unikt billede af overfladers struktur på nanoskala kan man også benytte et STM til på kontrolleret vis at flytte rundt med atomer og molekyler. Da det i begyndelsen af 90'erne blev demonstreret, at det bogstaveligt talt var muligt at tage ét bestemt atom og placere det med atomar præcision på en overflade og derved skrive med nanometerstore bogstaver, betød det et paradigmeskift for forskningen og åbnede mange forskeres øjne for de fantastiske muligheder, som nanoteknologien rummer. Med disse muligheder vil nogle måske tro, at science fiction-visioner om nanomaskiner og nanoroboter bygget af atomer og molekyler ligger lige om hjørnet. Det er imidlertid langt fra tilfældet, for mens STM mikroskopet er et unikt forskningsinstrument, er det ikke anvendeligt til en mere generel produktionsmetode; dertil er processen alt, alt for langsom.

Naturen viser vejen

En helt afgørende inspirationskilde til at udvikle metoder til storskala-produktion af nanostrukturer er molekylærbiologien og biologien. Naturen har udviklet sin helt egen nanoteknologi og levende celler er "nanofabrikker" med sofistikerede strukturer på nanoskala. De er "selvorganiserende", idet de samles ved, at molekyler genkender hinandens form og udnytter retningsbestemte bindingskræfter. Når f.eks. den genetiske kode i DNA omdannes til

specifikke proteiner, sker det i ribosomet, som er et fascinerende nanoskala-maskineri. Der er de seneste år gjort meget betydelige fremskridt med hensyn til at afdække strukturen af sådanne nanomaskiner, helt ned til positionerne af de tusindvis af enkelte atomer. Udfordringen består i dag ikke mindst i at etablere sammenhængene mellem struktur og funktion og udnytte denne viden til at skabe nye kunstige strukturer med ønskede egenskaber.



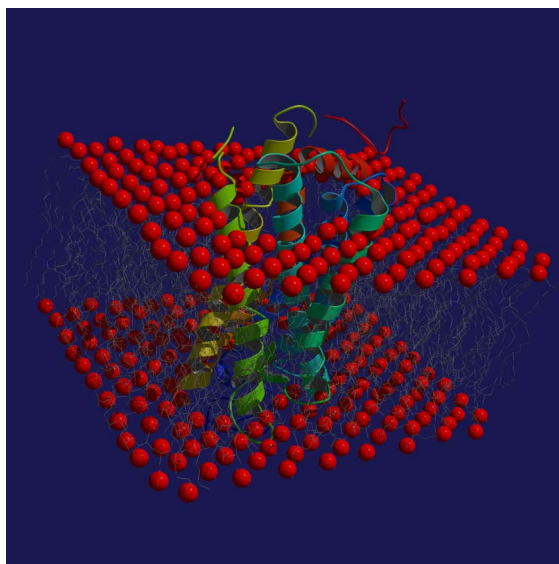
De levende celler indeholder fascinerende nanomaskiner. Figuren viser ribosomet, der er cellens protein-fabrik. Den atomare struktur af ribosomet er blevet bestemt for nylig, bl.a. med medvirken af forskere fra iNANO centeret.

Som man kan se refererer nanoteknologi ikke til et snævert fagligt afgrænset område. Tværtimod forsvinder grænserne mellem de klassiske naturvidenskabelige områder som fysik, kemi, molekylærbiologi og biologi på det atomare og molekylære niveau. Nanoteknologi udspiller sig i en verden, som størrelsesmæssigt befinder sig mellem atomer/molekyler og hele celler, hvor det drejer sig om at kunne forstå og styre opbygningen af strukturer, komponenter og maskiner med dimensioner på en skala fra 0,1–500 nanometer. Det tværfaglige samarbejde mellem udøverne af de traditionelle naturvidenskabelige discipliner er således helt afgørende, når potentialet for nanoteknologi skal realiseres.

Et område, hvor nanoteknologi med sikkerhed kommer til at spille en afgørende rolle, er i den fortsatte udvikling inden for elektronikindustrien. Computere har siden 60'erne fulgt en udvikling, hvor ydelsen er blevet fordoblet ca. hver 18. måned, hvilket har hængt nøje sammen med en tilsvarende formindskelse af de enkelt kredsløbs-elementer. I disse år nærmer vi os en situation, hvor de enkelte elektroniske kredsløb på computerchips begynder at være så små, at man kan tale om nanoelektronik. Når det sker vil vi se helt nye såkaldte "kvantemekaniske" fænomener. Hvis man f.eks. reducerer diameteren af en elektrisk ledning til nanometerniveau, vil den elektriske modstand blive "kvantiseret" og ikke længere følge Ohm's lov, som vi har lært den i skolen. Sådanne effekter giver helt nye muligheder, f.eks. for hukommelselementer, hvor forskellen på "1" og "0" blot er en enkelt elektron! Den fundamentale grænse, "The end of the Silicon road", venter os omkring år 2015, hvor kredsløbs-elementerne får atomare dimensioner. Netop bekymringen for, at Silicon Valley og den vækstdrevne IT-økonomi ville komme til et stop, motiverede i 2000 den amerikanske præsident Bill Clinton til at lancere det ambitiøse amerikanske National Nanotechnology Initiative, der for alvor bragte nanoteknologi helt frem på den internationale forskningsmæssige prioriteringsliste. En af visionerne er helt eller delvist at erstatte kredsløbs-elementer som ledninger og transistorer med organiske molekyler designet til at have

specielle elektriske egenskaber - et område der kaldes molekylær elektronik. En illustration af tværfagligheden inden for nanoteknologi er, at sådanne molekylære kredsløb vil blive skabt ved at få de molekyler, som kemikere har fremstillet, til at samle sig efter de samme principper for selvorganisering, som skaber naturens egne nanomaskiner i de levende celler.

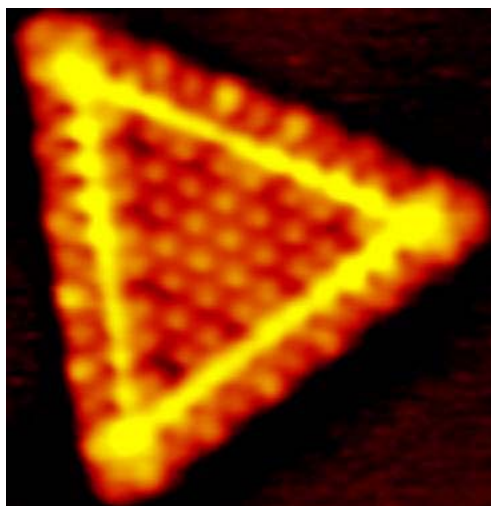
Et andet område, hvor de nanoteknologiske visioner er enorme, er nanomedicin eller mere generelt sundhedssektoren. Det vil blive muligt at dosere lægemidler fra små ”intelligente” nanobeholdere præcis på de steder i kroppen, hvor der er behov for dem, f.eks. ved en kræftcelle, hvormed man kan gøre behandlingen mere målrettet og undgå uønskede bivirkninger. Der arbejdes på udvikling af nye kemiske og biologiske sensorer, hvor funktionerne i et helt analyselaboratorium er nedskaleret til en integreret og meget billig ”lab-on-a-chip”, hvormed man simpelt kan stille præcise diagnoser på et bredt spektrum af sygdomme. En anden mulighed er udvikling af nye nanostrukturerede biokompatible materialer til f.eks. hofte- og rygimplantater, der vil have længere levetid i patienten, med forøget livskvalitet til følge for den store, voksende befolkningsgruppe, der lider af gigt og andre sygdomme i bevægeapparatet.



Naturen er en afgørende kilde til inspiration indenfor nanoteknologi. Bakteriorhodopsin, som er afbildet her, er et protein der reguleret af lys fungerer som en nanometerstor pumpe og transporterer protoner henover membranen der omslutter levende celler.

Inden for materialeområdet ønsker vi at udvikle materialer, der er optimerede til deres anvendelser. Et stofs egenskab er helt afhængig af den måde, hvorpå de atomare byggeklodser er sat sammen. Et eksempel er grundstoffet kulstof (carbon) hvor atomerne i én form danner diamant, et af verdens hårdeste materialer, mens de i en anden form danner grafit, der er et smøremiddel og bruges i blyanter. En tredje form af kulstof, de nyopdagede kulstofnanorør, har meget interessante elektriske egenskaber, der gør dem velegnede til f.eks. brug i flade computerskærme. Man er i dag i stand til at gro nye materialer lag for lag på det atomare niveau, og kombineres dette med teoretiske beregninger, vil man være i stand til at designe og fremstille materialer med ønskede elektriske, mekaniske eller magnetiske egenskaber. Nanoteknologi kan således føre til mere rationelle, og dermed mere miljøvenlige, produktionsformer. Vi kan forvente at se nye materialer, der er stærkere end stål, men med en meget mindre vægt, eller nye nanostrukturerede materialer med bedre korrosions- og slitageegenskaber end vi kender i dag.

En anden type nanomaterialer er de såkaldte katalysatorer, der er helt afgørende inden for miljø- og energiområdet. Nanoteknologien vil medvirke til at udvikle nye katalysatorer, der endnu bedre end i dag kan fjerne uønskede gasser fra biler, kraftvarmeverker etc. Inden for energiområdet er en af visionerne at overgå fra et samfund baseret på afbrænding af kul og olie, til det forureningsfri brintsamfund hvor brinten gemmes i nanostrukturerede materialer og omdannes til elektricitet i brændselsceller.



Katalyse har enorm samfundsmæssig betydning og nanoteknologi giver ny indsigt i katalysators virkemåde. Skanning Tunnel Mikroskopi (STM) billedet fra iNANO centeret viser en 3 nm bred trekantet MoS₂ nanopartikel - den aktive del af den vigtige afsvovlings-katalysator, der renser råolie for svovl, og dermed skåner miljøet for syrerregn.

iNANO-centeret på Aarhus Universitet

Der er ingen tvivl om, at nogle af de mest spændende anvendelser af nanoteknologien vil komme inden for områder, som vi end ikke forestiller os i dag. I disse år er det derfor uhyre vigtigt at satse på grundforskning i nanoscience for dermed at opbygge en bred kompetence og afsøge nye muligheder og ideer. På Aarhus Universitet er der allerede en række stærke grupper inden for fysik, kemi, molekylærbiologi, biologi og medicin, der beskæftiger sig med nanoscience, og flere af disse grupper tilhører den internationale elite inden for deres felt.

Den 28. januar 2002 åbnede et nyt Interdisciplinært Nanoscience Center ved Aarhus Universitet (*iNANO*). Centeret er etableret som et samarbejde mellem ovennævnte fagligt stærke forskningsgrupper, og vi ønsker med centeret at styrke tværfagligheden og danne bro mellem kemi/fysik- og biologi/molekylærbiologi-miljøerne på universitetet. Hermed skabes et miljø af tilstrækkelig størrelse, faglig bredde og videnskabelig kompetence til at påtage sig en afgørende rolle i bestræbelsen på at styrke den danske indsats på nanoområdet. I denne sammenhæng er følgende tre indsatsområder helt afgørende: Uddannelse, forskning og vekselvirkning med samfundet, herunder dansk industri.

Ny uddannelse i nanoteknologi

Et universitets måske vigtigste og fornemste opgave er at uddanne dygtige unge mennesker, og uddannelse er et helt afgørende element, hvis nanoteknologi skal være en del af fremtidens danske industri. På Det Naturvidenskabelige Fakultet etablerer vi derfor en helt ny tværfaglig bachelor- og kandidatuddannelse i nanoscience/nanoteknologi med studiestart den 1.

september i år. Man kan se en detaljeret beskrivelse af studiet på hjemmesiden: www.inano.au.dk.

Behovet for en ny uddannelse skal ses i lyset af, at nanoteknologi er et tværfagligt område, hvor mange af de mest visionære muligheder ligger i grænseområderne mellem de traditionelle naturvidenskabelige discipliner. Vi har derfor ønsket at etablere en ny uddannelse, der ligeledes går på tværs af de traditionelle naturvidenskabelige fag og som omfatter biologi, molekylærbiologi, kemi og fysik samt matematik og datalogi. Denne tværfaglige uddannelse komplementerer de traditionelle tofagsuddannelser, f.eks. fysik-kemi, der har været normen de sidste 40 år inden for uddannelser i naturvidenskab på Aarhus Universitet. På den nye uddannelse vil et nanoteknologisk orienteret lærerteam sikre, at tværfagligheden bliver en integreret del af de enkelte undervisningsmoduler og at nanoteknologiske problemstillinger bliver bragt helt frem allerede på de første år af studiet. Den nye uddannelse i nanoscience og nanoteknologi er tæt knyttet til det internationalt orienterede forskningscenter iNANO, hvilket vil sikre en høj grad af internationalisering under uddannelsen.

Samfundsmæssige perspektiver

International grundforskning er baseret på konkurrence og et ”give and get”-princip. Hvis Danmark ikke har forskergrupper, der befinder sig i den internationale forsknings superliga, er Danmark ikke en interessant samarbejdspartner i det internationale forskningsrum, og dermed vil man ikke få førstehåndskendskab til de seneste forskningsresultater og den nyeste teknologi. Det er derfor vigtigt at udbygge og styrke de stærkeste danske miljøer inden for nanoscience og nanoteknologi, så interessen fra udenlandske forskergrupper for at samarbejde med deres danske kolleger styrkes. Dette er præcist baggrunden for etableringen af iNANO på Aarhus Universitet.

Nanoteknologien er ikke mindst kendetegnet ved, at der er meget kort afstand mellem grundvidenskab og praktiske anvendelser. Samtidig med at forskningsaktiviteterne i iNANO øges, forhåbentlig gennem en offentligt støttet national satsning på nanoområdet, ønsker vi at styrke den industrielle udnyttelse af forskningsresultaterne. Dette vil ske gennem samarbejde med stærke industrielle virksomheder, hvorfor vi til iNANO har knyttet en rådgivende bestyrelse med baggrund i industrien. Det kan også ske ved, at iNANO virker som katalysator for etablering af nye virksomheder. I forbindelse med en netop indsendt ansøgning om en forskerskole knyttet til forskningscenteret iNANO vil alle ph.d.-studerende f.eks. blive tilbudt et kursus i innovation og patentering. Ofte er det de studerendes specialer og ph.d.-projekter, der danner baggrund for et evt. patent og en efterfølgende forretningsplan. Erfaringer fra udlandet viser, at nanoscience og nanoteknologi kan danne baggrund for en høj grad af innovation, og både Århus Amt og Århus Kommune har vist stor interesse for at medvirke til at dette kan ske til fremme af den højteknologiske erhvervsudvikling i regionen.

Som det forhåbentlig er fremgået af denne kronik, vil nanoteknologi om 10 år få stor betydning inden for en lang række områder, også for borgerne i Århus. De mange visioner gør forskning i nanoscience uhyre spændende netop nu. Universitetets opgave er at skabe et slagkraftigt forskningsmiljø, der kan danne basis for uddannelse af en ny generation af unge med tværfaglige kompetencer inden for nanoteknologi. Det nye iNANO initiativ på Aarhus Universitet vil aktivt medvirke til at gøre netop dette.