

4. ÅRGANG
NR. 1 / 2005

MATEMATIK **FYSIK**KEMI *i*

PERSPETTIV



NANO science

- FYSIK OG BIOLOGI MØDES!

Mikromekanik afslører bakterier

Mikroskopiske siliciumbjælker kan benyttes til hurtigt og effektivt at detektere bakterier i fødevarer. Metoden kan benyttes til at flytte fødevarekontrollen tættere på fødevareproducenten, således at en eventuelt forurening opdages så tidligt som muligt.

Hvis påvisning af bakterier i fødevarer kan udføres billigt og hurtigt, vil det være muligt for den enkelte landmand, slagter eller sågar forbruger at undersøge fødevarernes kvalitet. Hvis testen udføres tæt på produktionsleddet, vil det være muligt hurtigt at opdage en eventuel forringet fødevarekvalitet, og dermed kan produktionsomkostningerne og risikoen for inficerede fødevarer mindskes betydeligt.

Som forbruger kunne man forestille sig, at man havde mulighed for selv derhjemme på køkkenbordet at undersøge råvarer så vel som færdiglavede retter for velkendte bakterier så som *E. coli* og *Salmonella*. Mulighederne er mange, hvis blot der eksisterer en simpel, hurtig og følsom metode til registrering af bakterier.

Bøjelige bjælker

På Mikroelektronik Centret arbejdes der med at udvikle et lillebitte mekanisk og elektrisk apparat – en såkaldt *bioprobe* – der hurtigt kan detektere tilstedeværelsen af selv små mængder af specifikke biomolekyler. Princippet er, at den væske, der skal undersøges, føres forbi to mikrobjælker fremstillet i silicium. På hver mikrobjælke sidder der en modstand, som har piezoresistive egenskaber. Det vil sige, at modstanden ændrer sin værdi, når bjælken bøjer.

Den ene mikrobjælke – referencebjælken – er helt ren og bruges til at eliminere støj, der kan komme fra bevægelser i væsken og fra temperaturændringer. Den anden bjælke dækkes med et detektorlag, der kan binde lige netop det molekyle, man er interesseret i at måle

tilstedeværelsen af. Når molekyler fanges på bjælkens overflade, vil bjælken begynde at bøje, fordi de mekaniske spændinger på bjælkens overflade ændres. Hvis de bundne molekyler for eksempel har en tendens til at tiltrække hinanden, vil molekyllaget trække sig sammen og få bjælken til at bøje opad.

Småt er godt

Bjælkerne kan lige anes med det blotte øje. Bjælkerne er 200 μm lange, 40 μm brede og 1 μm tykke. Til sammenligning har et hår en diameter på ca. 80 μm . Den beskudne størrelse gør bjælkerne meget eftergivelige, samtidig med at de har en høj resonansfrekvens, hvilket gør dem mindre følsomme overfor støj.

De nuværende bjælker kan detektere udbøjninger på under en nanometer, hvilket er en milliontedel af en millimeter. Bjælkernes ringe størrelse gør det desuden muligt at fremstille et komplet apparat med væskehåndtering og elektrisk udlæsning på blot et par cm^2 . Så måleenheden kan gøres kompakt og nem at håndtere, og den vil derfor være velegnet til 'point of care'-analyser.

Det er meget vanskeligt at fremstille mekaniske strukturer med μm -dimensioner og med integreret elektronik ved brug af finmekanik. I stedet benyttes såkaldte fotolitografiske metoder, hvor bjælkerne fremstilles ved at ætse 3-dimensionelt i en tynd siliciumplade. Fremstillingen er forholdsvis simpel, og den er yderst velegnet til masseproduktion. Derfor kan det også tænkes, at bioproben på sigt bliver så billig at fremstille, at den kun bruges én gang, hvorefter den kasseres.

Indfangning af bakterier

Hele bakterier eller dele af bakterier kan fanges direkte på mikrobjælken. Hvis man for eksempel beklæder bjælken med antistof mod *E. coli*, vil bjælken specifikt binde *E. coli* eller dele af et *E. coli* bakterie. Følgelig vil bjælken udelukkende give et elektrisk udslag, hvis der er *E. coli* bakterier i den undersøgte madprøve.

Bioproben benyttes nu til at detektere en enkelt type bakterier, men i fremtiden tænkes bioproben udvidet til at indeholde en hel række af bjælker belagt med forskellige antistoffer. Hermed vil det være muligt at undersøge samtidigt for en lang række forskellige bakterier.

DNA genkendelse

Bjælkerne kan også benyttes til at genkende DNA. Et DNA molekyle består af to strenge, som hver især består af en lang række kombinationer af fire forskellige kemiske baser. Baserne på de to forskellige strenge parrer med hinanden på en ganske bestemt måde, så strengene hænger sammen.

En enkelt streng af DNA fra *E. coli* kan placeres på den ene mikrobjælke. En fødevareprøve kan forholdsvis hurtigt bearbejdes, således at bakteriernes DNA udskilles og spaltes i enkeltstrenget DNA. Herefter sendes den bearbejdede fødevareprøve forbi bjælkerne, der vil reagere, hvis bjælkens enkeltstrengede DNA passer perfekt til enkeltstrenget DNA i væsken. Hvis dette sker, kan man med stor sikkerhed konkludere, at der er *E. coli* til stede i fødevareren.

Kun fantasien sætter grænsen

Der er mange andre anvendelsesmuligheder end de her skitserede. For eksempel kan detektion af DNA også benyttes inden for diagnostik til detektion af bestemte genspecifikke sygdomme. Det vil sige sygdomme, som man ved, at man kan være arveligt disponeret for.

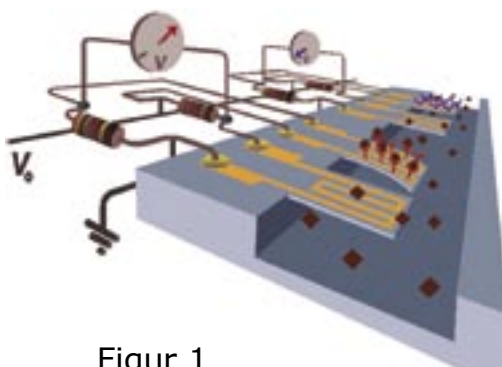
I dag har man blandt andet isoleret specifikke DNA sekvenser, som man ved er relateret til en øget risiko for udvikling af brystkræft. Man kan også forestille sig at bruge bioproben inden for miljøkontrol til

blandt andet at måle forureningen af drikkevand og til kontrol af indeklima.

På figur 3 ses resultatet efter en måling af DNA. I målingen har man belagt den ene mikrobjælke med enkeltstrengt DNA. Den kan genkende DNA, der er specifikt for en bestemt type af brystkræft. Idet bjælken udsættes for det kræftspecifikke DNA (det lilla område på grafen) begynder den at bøje. Udbøjningen måles som en spændingsændring over 4 piezomodstande koblet sammen i en Wheatstone-målebro. Bjælken bøjer kun nogle få nm, men det kan sagtens måles

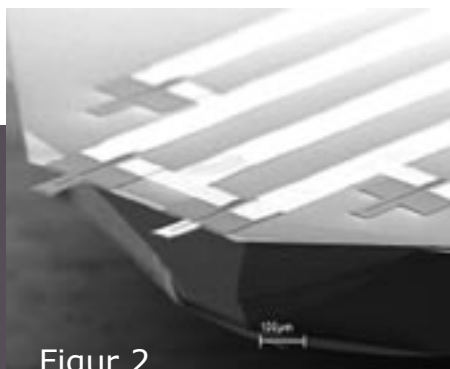
ved hjælp af piezomodstanden. Signalet bliver stabilt efter ca. 500 sekunder, hvilket svarer til, at alle DNA strenge på mikrobjælken har bundet en komplementær DNA streng fra væsken.

Bioproberne har vist sig meget anvendelige som et grundforskningsinstrument inden for studier af mekaniske egenskaber af tynde lag af biomolekyler. Derudover har bioproben udviklet sig til et kommercielt produkt. I dag kan man købe bioprobe-måleudstyr i virksomheden Cantion A/S, se bagsiden.



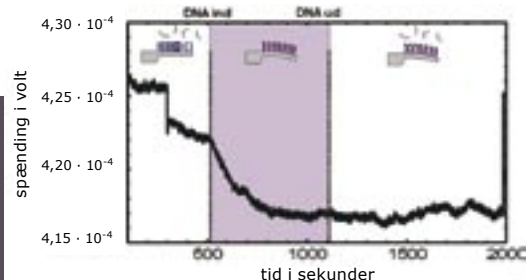
Figur 1

Væsken med DNA eller bakterier føres forbi de to mikrobjælker. På bjælkerne måles en modstandsændring, hvis molekyler bindes og dermed får bjælken til at bøje.



Figur 2

Scanning elektron mikroskop billede af to mikrobjælker ætset ud i silicium. Den ene bjælke benyttes til at registrere specifikke molekyler, mens den anden er en referencebjælke, der benyttes til at reducere baggrundsstøjen i systemet.



Figur 3

En mikrobjælke måling af DNA, der er specifikt for brystkræft. Bjælken bøjer nogle få nm når den udsættes for DNA prøven (lilla område) og udbøjningen stabiliseres efter ca. 500 sekunder.

PIEZORESISTIVITET

Et materiale er piezoresistivt, hvis det ændrer modstandsværdi når det strækkes eller trykkes sammen. Udtrykket 'piezo' er græsk og betyder noget i retning af 'at trykke sammen'.

Silicium er et meget følsomt og derfor meget anvendt piezoresistivt materiale. Hvis en 'stang' silicium sammenpresses i længderetningen med 0,01% af den oprindelige længde, vil den relative modstandsændring være ca. 1 %. På en mikrobjælke benyttes en u-formet siliciummodstand til at måle hvor meget bjælken bøjer. Når bjælken bøjes, presses modstanden sammen, hvorved modstandsværdien ændres. Metoden er meget robust og reproducerbar og udbøjninger på under 1 nm kan måles.

FOTOLITOGRAFI

Til fremstilling af mikromekaniske komponenter benytter man stort set de samme teknologier som inden for fremstillingen af integrerede kredse. Udgangspunktet er en siliciumskive, som belægges med et tyndt UV-lysfølsomt polymert lag. Mønsteret, som skal overføres, ligger som et reflekterende metal mønster på en glasplade. Ved at lyse igennem glaspladen med UV-lys, kan man lokalt eksponere og siden fjerne polymeren. Denne metode kaldes for fotolitografi. Polymeren benyttes efterfølgende som en ætsemaske. For eksempel kan man lokalt ætse flere mikrometer ned i siliciumskiven. Ved at udføre flere på hinanden følgende litografitrin og ætsetrin kan man fremstille avancerede tredimensionelle strukturer i silicium.

Kulstof nanorør

Overraskende opdagelser – Nye former for kulstof

I dag kendes fire meget forskellige former for kulstof, hvor de mest velkendte er diamant og grafit. Diamant er gennemsigtigt, meget hårdt og isolerende overfor elektrisk strøm. Helt andre egenskaber finder man for grafit – stiftet i en blyant. Det er sort, meget blødt og en god elektrisk leder. Denne imponerende forskel på de to materialer, der består af det samme grundstof, nemlig kulstof, skyldes udelukkende den måde, som atomerne sidder på i forhold til hinanden, altså deres krystalstruktur, se figur 4a–d.

I 1985 kom der for første gang i århundreder en helt ny form af kulstof på banen, nemlig kulstof-60 (C-60). Det er et molekyle, der består af 60 kulstofatomer. Atomerne sidder i en kugleskalsstruktur, der består af 12 femkanter og 20 sekskanter – præcis som på en læderfodbold. Det har også givet C-60 kælenavnet fodboldmolekylet.

I 1991 ledte den japanske forsker S. Iijima med sit elektronmikroskop efter sådanne molekyler, men så i stedet noget helt nyt: Aflange, rørformede molekyler, der nu kaldes kulstofnanorør. De har siden været under intens udforskning pga. en række fascinerende egenskaber, som vi blot vil beskrive nogle af her.

En usædvanlig struktur – Universets stærkeste materiale

Kulstof nanorør er molekyler med en krystalstruktur, der ser ud, som om et enkelt lag af grafit er blevet rullet sammen til en cylinder. Faktisk minder de mest af alt om et rør fremstillet af hønsenet.

Et typisk nanorør er omkring 1 nm i diameter, men kan have en længde på op til 100.000 nm = 0,1 mm – den omtrentlige diameter på et hår.

Da bindingerne mellem lagene i grafit er meget svage, har de enkelte lag let ved at glide hen over hinanden og grafit fremstår derfor som et meget blødt materiale. Et nanorør derimod består i princippet kun af et enkelt sammenrullet grafitlag, og dets styrke bestemmes af de meget stærke bindinger mellem atomerne inden for et enkelt lag. Nanorør har let ved at bøje, men de er meget svære at rive over.

I den henseende er nanorør det stærkeste materiale vi kender: 100 gange stærkere end stål. Et enkelt nanorør med en diameter på en nanometer vil kunne klare et træk på omkring 10^{-7} N (100 nN) før det knækker. Det lyder måske ikke som meget, men hvis man forestillede sig et nanorørs-reb på tykkelse med et hår (dvs. 100 μ m) vil det bestå af ca. 10 milliarder nanorør og kunne bære ca. 100 kg! Ydermere skal dette sammenlignes med at nanorør ikke vejer ret meget: 100 kg af nanorørsrebet vil have en længde på 622.000 km - det vil altså kunne nå ca. halvanden gang til Månen.

Forskellige slags

Der findes mange forskellige typer af nanorør, der er karakteriseret ved små forskelle i deres krystalstruktur. På figur 8 kan man se tre forskellige typer af nanorør.

Disse små forskelle i opbygning har store konsekvenser for rørens evne til at lede en elektrisk strøm. Nogle typer har mange løst bundne elektroner, som kan lede strømmen, mens andre typer næsten ingen har. Med andre ord er der store forskelle i nanorørens elektriske modstand. Grunden til denne forskel kan forklares vha. en af de mest succesfulde teorier for nanoverdenen, nemlig kvantemekanikken.

Det er en af de store udfordringer for en fremtidig praktisk anvendelse af nanorør, at man skal kunne sortere de forskellige typer af nanorør i laboratoriet.

Kul på elektronikken

Udgangspunktet for alle elektroniske kredsløb er transistorer. Det er komponenter, der fungerer som ventiler for strøm og dermed styrer de signaler, der løber i de elektriske kredsløb, når en computer udfører en beregning. Ved at sætte ultrafine metalelektroder på nanorør har forskere vist, at nogle typer rør kan fungere som transistorer.

Det er dog ikke let at udføre den slags eksperimenter – man kan ikke bare klippe et par krokodillenæb på et molekyle, der er 10.000 gange mindre end hvad man kan se med det blotte øje. Det kræver avancerede nanofabrikationsteknikker, som forskere bl.a. arbejder med ved Københavns Universitet. På figur 9 ses en elektronisk komponent, hvor et nanorør er forbundet til to guldelektroder.

Normalt kan man tænke på strøm som en flod af elektrisk ladning – det er sjældent man behøver at tænke på, at strømmen i realiteten består af elektroner. Men nanorørstransistorerne er så små, at selv én enkelt elektron kan spille en rolle. Danske forskere har faktisk lavet såkaldte enkelt-elektron transistorer med nanorør – komponenter, hvor man kan styre elektronerne en for en.

Nanorørene kan også benyttes som ledninger på nanoskala. Man har vist, at et enkelt nanorør kan klare en strøm på 0,02 mA. Det lyder måske ikke af ret meget, men man skal huske på, at rørene kun er én nanometer i diameter. Hvis man regner ud, hvad en el-ledning med en diameter på 1mm, fremstillet af et bundt ("reb") af nanorør, kan klare, får man en kolossal stor strøm. Faktisk kan nanorør bære strømme, der er mindst 10 gange større end i kobberledninger, som vi benytter i hverdagen.

Hvad fremtiden kan bringe...

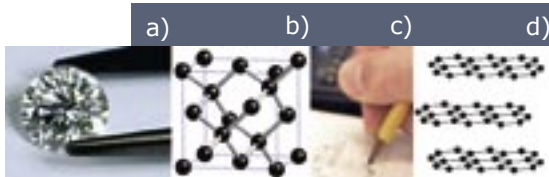
Alt i alt har man på nuværende tidspunkt vist, at nanorør kan fungere som ledninger, modstande og transistorer. Dermed har man de fleste dele som er nødvendige for at bygge et elektronisk kredsløb. Flere forskerhold har faktisk fremstillet enkle integrerede kredsløb, der er baserede på nanorør.

På figur 10 ser man, hvordan man forestiller sig, at man i fremtiden kan opbygge integrerede kredsløb (IC'ere) ved at forbinde forskellige nanorør vha. metal-baner. Det er dog en kæmpe udfordring at realisere dette og man skal ikke forvente at se "nanorørs-pc'er" de næste mange år.

Ved at forske i den retning lærer vi en masse om de grundlæggende egenskaber ved verden på nanometer-skala, og den viden vil helt sikkert få stor betydning for udviklingen af nanoteknologi i de kommende årtier.

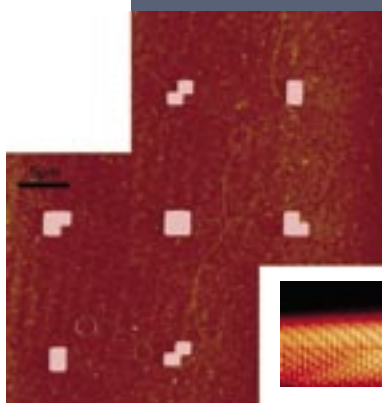
En anden fascinerende egenskab ved nanorør er, at de frie elektroner kun kan bevæge sig frem og tilbage langs nanorøret og ikke som i et normalt metal bevæger sig i alle tre retninger i rummet. Man siger, at nanorør er endimensionelle. Derfor kan man teste mange spændende fysiske egenskaber ved endimensionale systemer, som blev forudsagt teoretisk helt tilbage i 1960'erne.

Disse egenskaber kommer populært sagt fra, at elektronerne ikke kan "komme uden om hinanden" i én dimension.



Figur 4

Kulstof optræder i forskellige former, fx som diamant a) med en rumlig struktur b) og som grafit i en blyant c) med en plan struktur d).



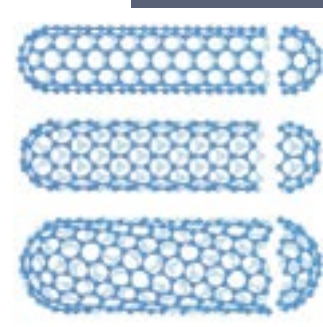
Figur 5

To ekstremt lange nanorør, som bugter sig på en overflade. Billedet er optaget med Skanning Probe Mikroskopi.



Figur 6

Zoom på et nanorør, hvor man tydeligt kan se den atomare struktur på rørets overflade.



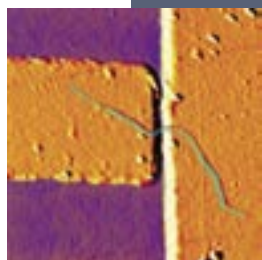
Figur 8

Model af forskellige nanorør. Hver kugle symboliserer et kulstofatom. De tre nanorør er "rullet op" på forskellige måder.



Figur 9

Billede af en elektronisk komponent, hvor et nanorør er forbundet til to guldelektroder.



Figur 10

En mulig fremtidig anvendelse af nanorør i forbindelse med fremstilling af integrerede kredsløb.



Figur 7

En mulig fremtidig anvendelse af nanorør som bærekabel

Nanorørens fantastiske trækstyrke betyder, at det som det eneste materiale i verden principielt kan benyttes til at bygge en elevator fra Jordens overflade ud i rummet til den geostationære bane, se figur 7.

En sådan rum-elevator vil kunne benyttes til at fragte mennesker og materiel ud i rummet uden brug af kostbare raketter. Videnskabsfolk og science fiction-forfattere har fantaseret om rum-elevatoren i over hundrede år. Men det har været principielt umuligt at bygge en, da man ikke rådede over kabler som var stærke nok til at bære sig selv over så store afstande.

Et sådant materiale har vi nu i form af nanorør og i USA arbejdes der seriøst på at bygge en rum-elevator vha. nanorør. Men der er dog stadig så mange tekniske udfordringer, der skal tackles, at en fungerende rum-elevator tidligst ser dagens lys mange årtier ude i fremtiden. Måske forbliver ideen fantasi.

Nanokatalyse til forbedret afsvovling af fossile brændstoffer

Katalysatorer bruges i stor skala til at accelerere og kontrollere tusindvis af vigtige kemiske reaktioner i den kemiske industri. De danner derved grundlaget for en produktion med en årlig omsætning på adskillige billioner kroner på verdensplan samt uundværlig miljøbeskyttelse, som vi fx kender det fra bilkatalysatoren.

En katalysator udmærker sig ved, at den kan accelerere en kemisk reaktion eller styre den i en given retning uden at katalysatoren selv bliver forbrugt i den kemiske proces, og man kan derved få kemiske reaktioner, der normalt ville tage årevis, til at forløbe på et splitsekund.

Selvom man industrielt har udnyttet katalytiske processer i op mod 100 år, mangler der i mange tilfælde en fyldestgørende mikroskopisk forståelse af katalysatorer og katalytiske processer, og udviklingen af nye og bedre katalysatorer er derfor ofte en tidskrævende og omkostningsfuld proces præget af empiri og af 'trial-and-error'.

En af forklaringerne på den manglende mikroskopiske indsigt i katalysatorens virkemåde, skal findes i katalysatorens komplekse opbygning, se figur 11.

En typisk såkaldt heterogen katalysator består af meget små aktive nanopartikler med en diameter på 10–100 nm, der sidder fordelt på overfladen af et bæremateriale med et meget stort overfladeareal. På den måde skabes der en enorm kontaktflade mellem de aktive partikler og reagerende gasser eller væsker.

Et gram af en katalysator kan have et areal i størrelsesordenen af flere parcelhusgrunde! Reaktionsbetingelserne komplicerer tingene endnu mere, idet katalytiske processer

typisk foregår ved en høj temperatur og ofte også ved et tryk på mange atmosfære.

Forskningen i nanoteknologi er nu begyndt at ændre måden, som nye katalysatorer udvikles på, bl.a. baseret på viden skabt ved iNANO, Aarhus Universitet.

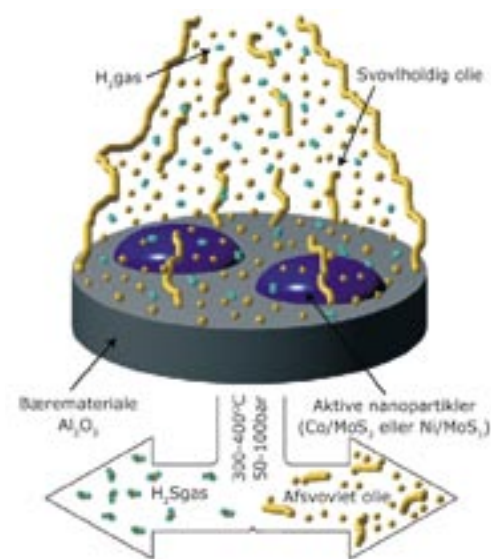
En forudsætning for at kunne skræddersy en ny katalysator er evnen til at styre, hvordan reaktanterne først splittes og derefter samles til nye produkter på katalysatorens overflade. Da nanoteknologi netop handler om at kunne kontrollere materialer og molekyler på nanometer-skala forventes det, at indsatsen inden for nanovidenskab vil give anledning til en markant hurtigere udvikling af bedre katalysatorer i fremtiden.

Ved iNANO er der blevet opbygget en række unikke faciliteter til studier af katalysatorer. Med et hjemmbygget Skanning Tunnel Mikroskop (STM) kan man direkte afbilde, hvordan en katalysator er sammensat – atom for atom – og i nogle tilfælde direkte observere de enkelte trin i de kemiske reaktioner. Dette har givet en unik indsigt i katalysatorens virkemåde, specielt i den atomare struktur af den katalysator, der bruges til at fjerne svovl fra råolie, se boks.

Løsningen på mange aktuelle energi- og miljømæssige problemstillinger afhænger i høj grad af, om det lykkes at udvikle bedre katalysatorer. Konkrete anvendelser til bl.a. reduktion af forureningen fra biler og kraftværker samt udviklingen af alternativer til benzin og diesel som brændstof til transport kræver en markant forøgelse af en række katalysatorens effektivitet.



Figur 11
Et kig ind i en reaktor fyldt med en katalysator formet som piller af et porøst bærermateriale, hvorpå de aktive, få nanometer brede nanopartikler sidder.



Figur 12
En skitse af afsvovlingsprocessen. Det svovlholdige olie ledes sammen med brint igennem katalysatoren ved højt tryk og temperatur, hvorved svovl fjernes som svovlbrinte.

Studiet af afsvovlingskatalysatoren er et eksempel på, hvordan de redskaber og den viden, der skabes inden for nanoteknologien direkte kan anvendes til at studere model-systemer for en kompleks katalysator.

Det er lykkedes for den danske katalysatorproducent Haldor Topsøe A/S at videreudvikle afsvovlingskatalysatoren direkte på baggrund af den detaljerede indsigt, der er opnået med STM. Dermed er der skabt en ny generation af mere effektive afsvovlingskatalysatorer, der kan opfylde fremtidens miljøkrav.

Myndighederne i EU og USA har for nylig besluttet at reducere miljøbelastningen fra afbrænding af restsvovl i diesel. Råolie indeholder en lang række urenheder, som af praktiske såvel som miljømæssige hensyn skal fjernes, før olien raffineres til benzin, diesel og andre olieprodukter. Specielt har indholdet af svovl i råolie fået meget opmærksomhed, idet afbrændingen af olieprodukter med svovl i sidste ende giver anledning til syrerregn, forsurening af vandløb og søer og udbredt skovdød.

Svovl kan fjernes katalytisk ved en proces, der hedder afsvovling, se figur 12 til venstre. Desværre er de nuværende katalysatorer ganske enkelt ikke effektive nok til at reducere svovlindholdet. Lovgivningen i EU kræver, at svovlindholdet i diesel skal reduceres fra de nuværende 350 ppm (parts-per-million) til 50 ppm inden år 2005. I Californien, hvor miljølovgivningen er blandt de skrappeste i verden, skal det ned på 10 ppm, så behovet og interessen for mere effektive katalysatorer er markant og påtrængende.

Det overordnede princip bag afsvovlingskatalysatorens virkemåde har været kendt i årevis, men det har indtil nu ikke været muligt at iagttage katalysatoren på atomart niveau, og der resterer derfor en række fundamentale spørgsmål.

- Hvad er fx den detaljerede form af nanopartiklerne i katalysatoren?
- Hvordan sidder atomerne i specielt kantområderne af nanopartiklerne i forhold til hinanden?
- Hvor sidder de katalytisk aktive centre?

Alt dette er aldrig før blevet observeret direkte på en atomar skala, men Skanning Tunnel Mikroskopet (STM) har ændret ved dette.

Ved iNANO er det lykkedes at skabe en realistisk model af katalysatoren i laboratoriet og på kontrolleret vis studere dens atomare opbygning og katalytiske aktivitet med STM. De aktive nanopartikler i afsvovlingskatalysatoren består hovedsageligt af molybdæendisulfid (MoS_2). Ved at fordampe metallisk molybdæn på en guldoverflade under tilførsel af svovlbrinte (H_2S) lykkedes det at danne MoS_2 nanopartikler med en karakteristisk og størrelse lig nanopartiklerne i afsvovlingskatalysatoren.

Figur 13 viser et atomart opløst STM billede af en ca. 3 nm bred MoS_2 nanopartikel. STM billederne af de trekantede nanopartikler afslører adskillige overraskelser, bl.a. at MoS_2 -nanopartiklerne antager en trekantet form i stedet for en sekskant, som man ville forvente fra krystalstrukturen af MoS_2 . Denne viden har stor indflydelse på forståelsen af katalysatorens virkemåde. Kun kanterne af partiklen er reaktive og kanterne på en trekantet og en sekskantet partikel er strukturelt forskellige.

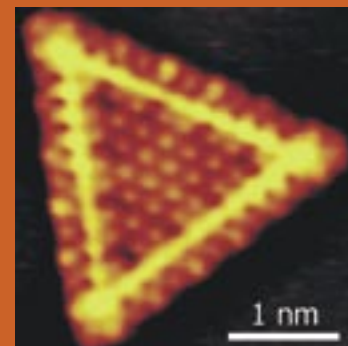
Katalysatoren er dog, som den er vist i figur 13, ikke katalytisk aktiv endnu. Den skal først aktiveres ved, at brintmolekyler ledes hen over den. Herved bliver der dannet svovlbrinte (H_2S) og der bliver efterladt en tom plads, en såkaldt svovlvakance, som man mener er det aktive center i katalysatoren.

Det aktive center vil kunne binde svovl fra et oliemolekyle, som "svømmer" forbi. Derved fjernes svovl fra råolien og bindes til katalysatorpartiklen. Svovlet på partiklen kan så reagere med et nyt brintmolekyle og danne en ny vakance, hvilket slutter den katalytiske cyklus.

Figur 14 viser et STM-billede af en MoS_2 -trekant i den aktive tilstand. Efter reaktion med små mængder brint ses tydeligt, at enkelte af svovlatomerne mangler langs kanten, hvilket er et direkte bevis for dannelsen af aktive svovlvakancer. Disse nye STM resultater giver et håndgribeligt bevis for princippet bag katalysatorens virkemåde.

Yderligere forskning har vist, at den klare gule rand, der ses langs kanten på de trekantede MoS_2 nanopartikler, også spiller en vigtig rolle i afsvovlingsprocessen.

Det er velkendt, at materialer generelt ændrer karakter, når det eksisterer i form af nanopartikler og MoS_2 er således ikke en undtagelse. Det viser sig, at den metalliske gule kant vekselvirker overraskende kraftigt med molekylerne i olien, og at det medvirker til at åbne op for strukturen af de ofte meget store og komplekse svovlholdige oliemolekyler. Derved lettes adgangen til svovlatomet, som ofte sidder dybt inde i et aromatisk kulstofmolekyle og svovl kan således lettere reagere med en vakance.



Figur 13, øverst

Skanning Tunnel Mikroskopi billede af en trekantet MoS_2 nanopartikel. Billedet viser strukturen af katalysatorpartiklen atom for atom.

Figur 14, nederst

Et STM billede af en tilsvarende trekantet MoS_2 nanopartikel, der er blevet aktiveret med brint. Læg mærke til, at nu mangler der svovlatomer på kanten af partiklen.

Cantion A/S

Cantion A/S blev etableret i 2001 på en ide udviklet på MIC – institut for mikro- og nanoteknologi. Ideen går ud på at benytte de såkaldte bioprober med piezoresistiv udlæsning til hurtig og markørfri detektion af specifikke molekyler. Et sådant sensorsystem har mulige anvendelser inden for human diagnostik, fødevarekontrol, vandkontrol og sporing af sprængstoffer.

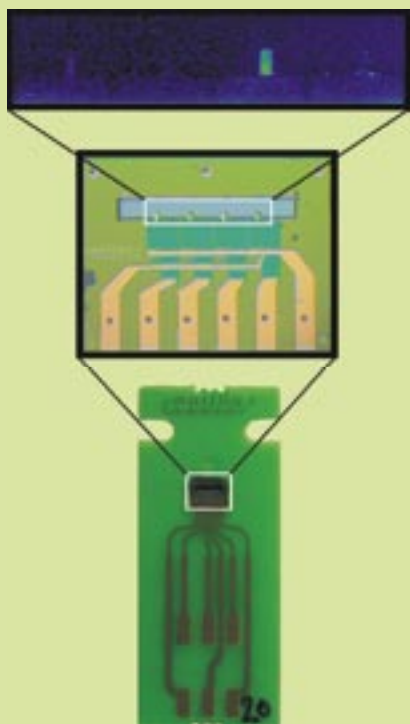
Cantion A/S udvikler og fremstiller de små bjælkebaserede sensorer i silicium. Sensorne ætzes ud lag for lag i en siliciumskive, der er cirka 0,5 mm tyk. På en siliciumskive med en diameter på 10 cm kan der være flere hundrede sensorer.

Cantion A/S bruger meget energi på at optimere sensoren, så følsomheden kan blive så høj som overhovedet muligt. Man kan sige, at den oprindelige ide og den første demonstrationsmodel blev udviklet på MIC, hvorefter den egentlige produktmodning nu foregår i Cantion A/S. I produktmodningen er det vigtigt at udvikle en sikker og robust fremstillingsmetode samtidig med at sensorens design optimeres. I denne optimering er det essentielt at optimere signal/støj forholdet.

Hver enkelt sensor bliver monteret på et keramisk substrat, således at brugeren nemt kan håndtere sensoren og få elektrisk kontakt til den. Den færdigmonterede sensor placeres i en såkaldt C-boks, der måler de elektriske signaler fra fire bjælker samtidigt. Ved at registrere ubøjningen af fire bjælker er det muligt at undersøge fire forskellige reaktioner parallelt.

Bjælkerne sidder kun et hårs bredde fra hinanden og det er derfor en udfordring at få de små bjælker belagt med forskellige detektorlag, der kan genkende forskellige molekyler. Derfor har Cantion A/S udviklet et apparat, CantiSpot, der kan 'spotte' en lille dråbe væske på en enkelt bjælke.

Hermed er det muligt at coate i princippet hundredvis af bjælker med forskellige væsker, indeholdende for eksempel forskellige DNA strenge. Cantion er for øjeblikket i gang med at sende de første produkter på markedet og henvender sig i første omgang primært til forskere.



i PERSPEKTIV

Udgivet af Fysikforlaget med støtte fra Undervisningsministeriets tips/lottomidler og af Birch & Krogboe Fonden

Redaktion: Niels Elbrønd Hansen
Layout: Mette Qvistorff

Produktionsgruppe:
Flemming Besenbacher,
Anja Boisen,
Thomas Sand Jespersen,
Jeppe V. Lauritsen,
Anders Mathias Lunde,
Jesper Nygård og
Martin Schmidt (fagredaktør).

www.perspektiv.gymfag.dk

Tryk: Budolfi Tryk, Aalborg

Oplag: 9.000