

# En verden med nanotråde



Forskere arbejder på at udvikle nanotråde tusinde gange mindre end et hår, som kan bruges til at måle, hvad der foregår i en enkelt celle.

Forfatteren Morten Hannibal Madsen er ph.d. fra Nano-Science Center ved Niels Bohr Institutet og ansat ved DFM A/S hannibal@nbi.ku.dk

Hvis man ønsker at overvåge, hvad der foregår i kroppen, findes der forskelligt udstyr, der kan bruges til formålet: pulsmålere, termometre, blodtryksmålere mv. Men hvad nu, hvis man ønsker at overvåge, hvad der foregår inde i en enkelt celle? Så er mulighederne straks meget mere begrænsede.

Målinger på enkelte celler er meget relevant fx i forbindelse med undersøgelser af bivirkninger af medicin på et meget grundlæggende niveau. Da der er konstant stigende krav til producenter af medicin om store og dyre kliniske studier af medicins effekt og ikke mindst bivirkninger, vil målinger på et tidligt stadie gøre udviklingen meget billigere.

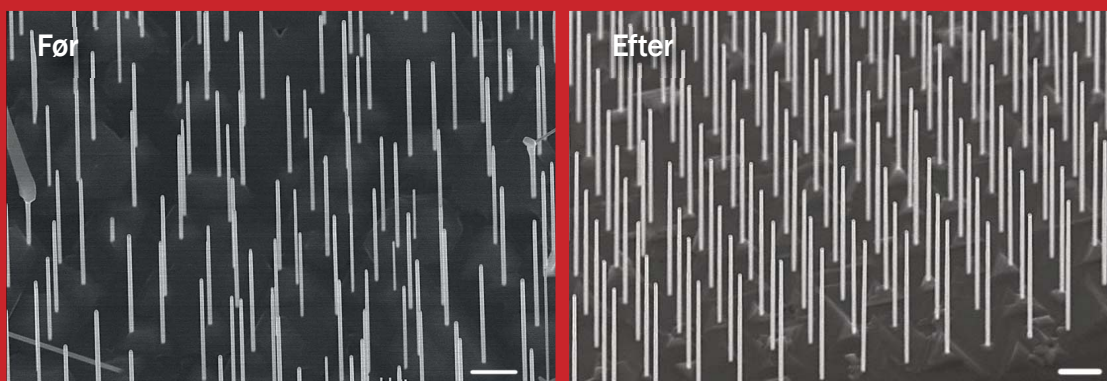
I dag kan man måle på celler ved at stikke en tynd glaspipette ind gennem cellemembranen. Glaspipetten indeholder en elektrode, der måler hvordan

cellen reagerer, når den udsættes for medicin. Det største problem ved denne type målinger er, at der skabes et så stort hul i cellen, at den ikke kan hele. Det medfører to store udfordringer: For det første ved man ikke, om cellen opfører sig anderledes, når membranen er ødelagt, og for det andet dør cellen indenfor en halv time.

Ved at benytte nanotråde, der er meget mindre end glaspipetter, kan man omgå disse problemer. På Niels Bohr Institutet forsker vi i at fremstille nanotråde netop med det formål at bruge dem til at måle på enkelte celler.

## Målrættede nanoprik

Nanotråde er typisk 50-100 nanometer i tykkelsen. En nanometer er en milliardtedel af en meter eller cirka den samme længde, som en negl vok-

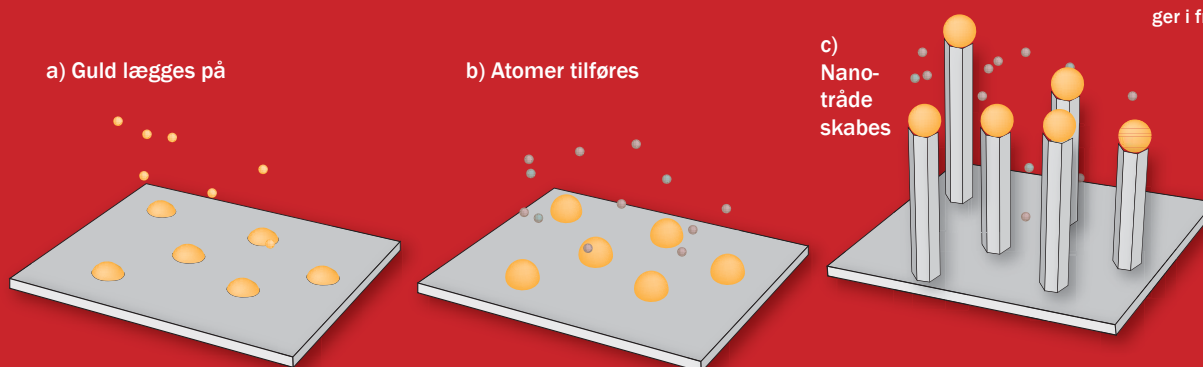


Elektronmikroskopbilleder af nanotråde fremstillet før og efter optimering af fremstillingsmetoden.

På "før-billedet" til venstre er nanotrådene spredt tilfældigt og har mange forskellige længder. Det gør dem uegnede til celleforskning. Efter optimering af fremstillingsmetoden er nanotrådenes position og højde meget ensartet. Det gør dem velegnede til at blive stukket ind i menneskeceller. Billederne er taget med 20.000 gange forstørrelse, og bjælken i nederste højre hjørne af hvert billede er 1.000 nanometer.

Fotos: Morten Hannibal Madsen.

Fotoet på forrige side viser forfatteren ved udstyr til fremstilling og samtidig karakterisering af nanotråde. Prøverne indføres i toppen af apparatet (1), hvorefter trykket bringes ned, indtil det svarer til at være ude i rummet (2). Prøverne flyttes ind i et nyt kammer, hvor nanotrådene fremstilles ved at tilføre en kontrolleret mængde atomer (3). Mens nanotrådene bliver fremstillet kan der sendes røntgenstråler ind gennem stål-røret (4). Derved kan man studere selv meget små ændringer i fremstillingen



De grundlæggende trin i fremstilling af nanotråde.

- (a) Der lægges guld på en krystal. Ved høje temperaturer danner guldets mange små dråber.
- (b) En kontrolleret mængde atomer tilføres. Atomerne samler sig i gulddråberne.
- (c) Ét atomlag af gangen bliver nanotråden fremstillet. Der skal hele tiden tilføres flere atomer for at holde processen i gang. Gulddråberne bliver siddende på toppen af nanotrådene under hele fremstillingen.

ser på et sekund. Nanotråde er derimod op til 0,01 mm lange, og det store forhold mellem tykkelse og længde er med til at give dem specielle egenskaber.

Nanotrådene er flere hundrede gange mindre end en celle og påfører derfor kun cellen et lille hul, når de stikkes igennem cellemembranen. Det påvirker cellernes helbred langt mindre og gør det muligt at måle på en enkelt celle over lang tid, fordi den ikke dør kort efter indgrebet.

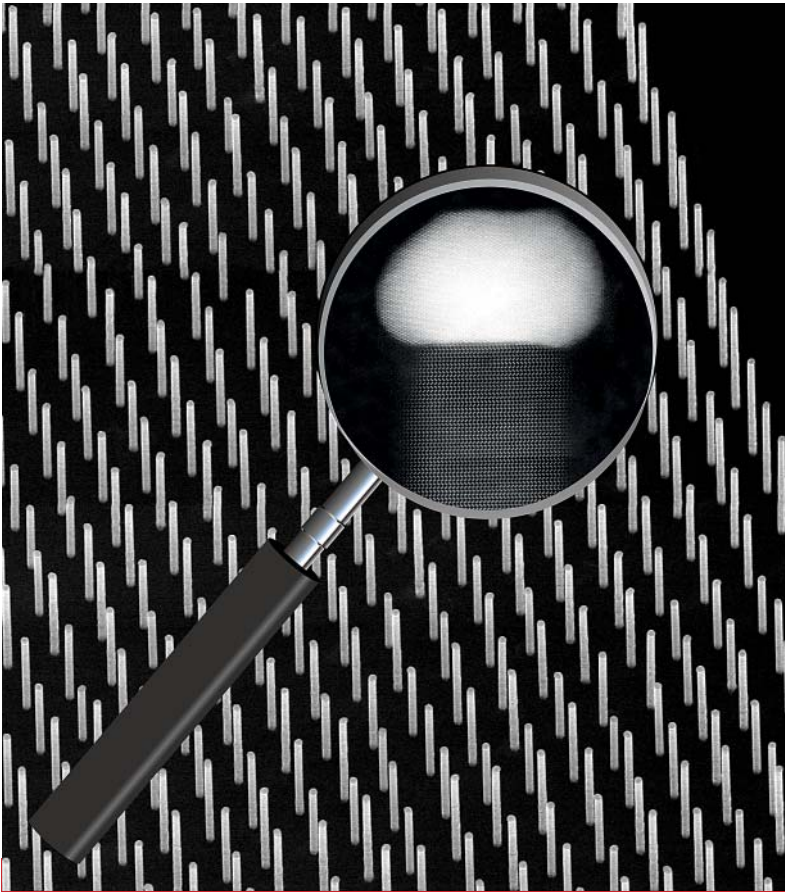
Det er ofte en stor udfordring at få medicin til at trænge gennem cellemembranen, og det koster megen tid og kræfter at modificere medicinen, så den kommer rigtigt frem. Nanotråde har også potentiale til at målrette medicinering af enkelte celler. Ved at lægge medicin på overfladen af nanotrådene og stikke disse ind i cellen kan man nemmere

“tvinge” en celle til at optage et stof. Da nanotråde i sig selv er en elektrode, kan man samtidig undersøge effekten af medicineringen. Det vil derfor være muligt at udføre målinger med den samme nanotråd, som har bragt medicinen ind i cellen.

### Kontrol af atomer

Under ultra-rene forhold, der stort set svarer til at være ude i verdensrummet, fremstilles nanotrådene ved at tilføre en kontrolleret mængde atomer til en krystal. Atomerne vandrer tilfældigt rundt på overfladen af krystallen, indtil de finder et godt sted at sidde. Ved at gøre det mere favorabelt for atomerne at sætte sig et bestemt sted kan fremstillingen af de specielle nanostrukturer styres. Hele processen med at fremstille nanotrådene foregår ét atomlag ad gangen, men flere millioner nanotråde kan fremstilles samtidig.





Elektronmikroskopbilleder af nanotråde. Nanotråden i midten er forstørret en million gange. Man kan tydeligt se gulddråben øverst, og hver enkelt prik under gulddråben er et atom.

Collage med billeder af Morten Hannibal Madsen og Erik Johnson.

## Om nanotråde

Typiske materialer: Indium, Gallium, Arsen, Silicium

Nye materialer: Fosfor, Antimon

Tykkelse: 50-100 nanometer

Længde: Op til 0,01 mm

Anvendelser: Målinger på celler, næste generation computere, solceller, batterier, lysdioder

### Videre læsning

Nanoteknologi til udvikling af ny medicin, Bioteknologisk forskning kan hentes gratis på [www.science.ku.dk/oplev-science/gymnasiet/undervisningsmaterialer/boeger/bog\\_biotech\\_forsk/filer/10\\_nanoteknologi.pdf/](http://www.science.ku.dk/oplev-science/gymnasiet/undervisningsmaterialer/boeger/bog_biotech_forsk/filer/10_nanoteknologi.pdf/)

Bogen Nanoteknologiske horisonter kan hentes gratis på [www.nano.dtu.dk](http://www.nano.dtu.dk)

Der benyttes oftest guld for at kontrollere atomernes bevægelser. Ved høje temperaturer bliver gullet flydende og former mange små dråber. De atomer, der tilføres, vil samle sig i gulddråberne. Når der er nok atomer samlet i dråben, vil atomerne danne ét atomlag. Herefter skal der tilføres flere atomer for at fremstillingen fortsætter.

Guld har dog den uheldige egenskab, at det modvirker de specielle egenskaber, som nanotrådene har. Selv et enkelt guldatom kan være ødelæggende. Netop tilstedeværelsen af guld har været en stor hæmsko for at kunne benytte industrielle laboratorier til fremstillingen af nanotråde.

En stor del af mit projekt har derfor handlet om at udvikle metoder til at fremstille nanotråde uden brug af guld eller andre metaller. Ved i stedet at lægge et beskyttende lag på krystallen og ætse små huller i laget bliver det favorabelt for atomerne at samle sig i hullerne. Hullerne fungerer som en brønd for atomerne, og det bygger fundamentet til nanotrådene. Med den nye fremstillingsmetode er der taget et stort skridt i retning af at integrere nanotrådene med den eksisterende industri.

### Fejlfrit atompuslespil

Hvert atomlag i nanotrådene kan lægge sig på flere forskellige måder i forhold til de andre lag. Sider de forskellige, vil det påvirke egenskaberne af nanotrådene. Forskerne har derfor også fokuseret på at optimere atomlagenes placering. Det er lykkedes at nedbringe antallet af uregelmæssige lag til mindre end 1 pr. 10.000 atomlag. Nu kan antallet af uregelmæssige lag i hver nanotråd tælles på én hånd.

Nanotråde af høj kvalitet, som er fuldstændig fri for uregelmæssigheder, er eftertragtet af forskere fra hele verdenen. Prøver med de optimerede nanotråde er derfor sendt til adskillige internationale forskere, herunder til forskningsgrupper ved de anerkendte universiteter Harvard og Stanford.

Indtil nu har det kun været muligt at studere nanotrådene og atomlagenes placering efter fremstillingen var slut.

Som en del af projektet er der for første gang udført karakterisering af nanotråde med røntgenstråler *samtidig* med, at de er blevet fremstillet. Det har givet ny viden om de underliggende processer under fremstillingen og har højst overraskende vist, at atomlagene kan ændre sig efter fremstillingen. Eksperimentet blev foretaget ved at flytte fremstillingen af nanotråde til verdens største røntgenkilde, der ligger i Japan. Ved at sende røntgenstråler ned på et lille område af prøven samtidig med, at der tilføres en kontrolleret mængde atomer, er det muligt at følge med i fremstillingen et skridt ad gangen.

### Et kig i krystalkuglen

Forskere er nu i gang med at fremstille nanotråde af nye materialer. Målet er at fremstille endnu bedre produkter. Det vil kræve en krystalkugle af god kvalitet at spå om, hvad forskningen i nanotråde vil bidrage med i fremtiden. For 15 år siden var der stort set ingen forskning i nanotråde, og i dag anvendes de i alt fra forskning på menneskeceller til udvikling af næste generation computere. Det bliver spændende at følge med i, hvor nanotråde bliver anvendt om 15 år, eller om de er blevet overhalet indenom af nye og endnu mere fantastiske strukturer. ■