

Materialerne bag fremtidens computer

Af Dennis Christensen
Danmarks Tekniske Universitet

En kort historie om næsten alt:

Computerteknologien er i rivende udvikling og de elektriske komponenter bliver fortsat mindre, billigere og mere kraftfulde. Meget tyder dog på, at hvis denne udvikling fortsætter som i dag, vil den ramme en mur i næste årti. I mit projekt har jeg sat fokus på computerens byggesten, nemlig de elektroniske materialer. Jeg har undersøgt nye materialer, som har fantastiske egenskaber: Materialerne kan bruges til at lave avancerede kvantecomputere eller computere med et minimalt energiforbrug. De kan også bruges til computere, hvor hardwaren udvikler sig og løbende bliver smartere – præcis som menneskets hjerne udvikler sig til en fantastisk computer i takt med, at vi udvikler os fra spæd til voksne.

En kort video omkring mine studier kan findes her:

<https://www.dropbox.com/sh/hzfvitahgfu0szy/AAD3pxWTBN-MepGW0Td-GqilAa?dl=0>

Den rivende udvikling:

Vi bruger alle computere og smartphones hver dag, men hvordan vil de udvikle sig i fremtiden? I det 18. århundrede blev de første mekaniske computere bygget, som kunne lave automatiske beregninger (*computations*) ved hjælp af fx gear og tandhjul. Den første digitale computer (ENIAC) blev bygget under 2. verdenskrig for at forudsige, hvor amerikanske granater ville ramme. Den vejede 27 tons og fyldte 170 m². Princippet bag de fleste af ENIACs komponenter bliver stadig brugt i moderne computere. Få år efter blev transistoren opfundet, og denne opfindelse skulle vise sig at være afgørende for den teknologiske udvikling. Transistoren er fortsat hovedkomponenten i en moderne computer, og det er denne komponent, der udfører beregningerne. Siden 1947 er dens design er blevet optimeret og gjort mindre, så flere transistorer kan placeres på en computerchip. Dette har øget computerens regnekraft markant. I dag er transistorerne så små, at de laves ved hjælp af nanoteknologi. Den nyeste transistor fra elektronik-giganten Intel er ca. 2000 gange tyndere end diameteren på et menneskes hår. Det gør det muligt at bygge moderne smartphones med et antal transistorer, som i dag næsten er lig antallet af mennesker på jorden. Gennem de sidste 50 år er antallet af transistorer på en enkelt chip med overraskende høj nøjagtighed fordoblet hvert andet år. Det er en

rivende udvikling, som kan være svær at begribe, men hvis bilindustrien havde haft samme udvikling, ville en bil i dag kunne køre med 36000 gange lysets hastighed. Den vil desuden kunne køre en distance svarende til 2000 gange tur/retur til Pluto på en enkelt liter benzin. Udviklingen har altså været enestående, men kan den fortsætte i fremtiden?

Den mørke fremtid:

Meget tyder på, at hvis udviklingen fortsætter som i dag, vil den ramme en mur i næste årti. I dag er de elektriske komponenter nemlig så små, at hvis de skal gøres markant mindre, opstår der tre store problemer:

- 1) **Dyrere komponenter:** De elektriske komponenter kan i dag produceres meget billigt, men hvis de skal formindskes yderligere, skal de produceres med en ny og meget dyrere teknologi.
- 2) **Overophedede komponenter:** I takt med at komponenterne bliver mindre, bliver en større del af strømmen omdannet til varme. Det betyder, at en stor del af energien bliver spildt på en uønsket opvarmning. Det er svært at fjerne varmen fra små komponenter, hvilket kan medføre, at komponenterne overopheder og dermed ikke virker.
- 3) **Ændring af egenskaber:** Når komponenterne bliver små nok, følger de ikke længere de klassiske fysiske love, men derimod de kvantemekaniske love. Det betyder, at hvis komponenterne laves på samme måde (blot mindre), vil de simpelthen ikke fungere.

For ikke at støde hovedet mod muren, har vi brug for at finde helt nye veje i fremtiden.

Den lyse fremtid:

Muren tvinger os til at gentænke de mest fundamentelle koncepter og redefinere, hvordan en computer virker. Det giver os heldigvis muligheder for at designe nye computere, som har helt andre og bedre funktionaliteter end traditionelle computere. Eksempelvis

kan vi udnytte kvantemekanikkens underlige love til at lave såkaldte kvantecomputere, som kan løse en række opgaver, som er urealistisk at løse med traditionelle computere. Det kan fx være at finde noget information i en enorm mængde data, dvs. finde nålen i høstakken. Vi kan også lade os inspirere af biologien og designe en computer efter menneskets hjerne, som både er kraftfuld og bruger utrolig lidt energi.

Min forskning:

I min forskning har jeg studeret computerens byggestenene, nemlig de materialer, som de elektriske komponenter er lavet af. Ved hjælp af nanoteknologi har jeg sat to såkaldte oxid-materialer sammen og påvist, at der opstår nye egenskaber i grænsefladen, som ikke eksisterer i hvert af oxid-materialerne i sig selv. For eksempel er de to oxid-materialer elektrisk isolerende, men når jeg sætter dem sammen, bliver grænsefladen særdeles god til at lede strøm. De to oxid-materialer er ikke magnetiske, men der dannes også magnetisme, når jeg sætter materialerne sammen.

Det har vist sig, at der udover disse to egenskaber også opstår et væld af andre fascinerende egenskaber, hvis lige ikke findes i de materialer, som vi bruger i computere i dag. Jeg har brugt en stor del af mit ph.d.-studie på at opdage, forstå og kontrollere disse egenskaber. Navnlig er jeg fascineret af tre egenskaber, som kan åbne en række døre for at designe fremtidens computere:

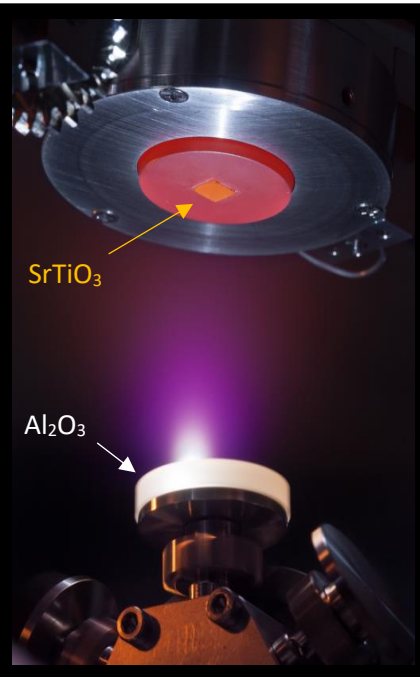
- 1) **Superledende transistorer:** Når der laves beregninger med en transistor, bliver en stor del af den tilførte energi omdannet til uønsket varme. Det giver store udfordringer i forhold til at nedkøle moderne supercomputere såvel som fremtidens små elektroniske transistorer. Som en del af mit ph.d.-projekt har vi vist, at vi kan lave en transistor, som er superledende. Når et materiale er superledende, bruges der ikke noget energi på at lede en strøm i materialet, og der bliver derfor ikke genereret spildvarme.
- 2) **Kvantecomputere:** Når komponenterne bliver mindre, kommer den bagvedliggende fysik til at følge kvantemekanikkens underlige regler. Jeg har studeret forskellige kvantemekaniske fænomener i de nye materialesammensætninger. Det har vist sig, at disse materialer opfører sig anderledes end andre materialer. Fx kan elektronerne tiltrækkes af hinanden i stedet for blive frastødt, som det normalt observeres. Det gør, at de kvantemekaniske egenskaber er anderledes, og det er muligt, at nogle af disse kvanteeffekter er attraktive i forhold til at lave kvantecomputere.
- 3) **Hardware som udvikler sig over tid:** Når en computer bygges i dag, ændres dens hardware ikke, med mindre man foretager hardwareopdateringer. Menneskets hjerne er anderledes. 'Den menneskelige computer' udvikles gennem hele livet. De materialer, jeg forsker i, minder i høj grad om menneskets hjerne. De udvikler sig også med tiden, og kan derfor bruges til at designe computere med hardware, der bliver bedre og bedre hver eneste dag. Med disse materialer, kan fremtidens computere altså formentlig lære på samme måde som mennesket.

Min fremtid:

Grænsefladen mellem oxid-materialerne er yderst interessant i forhold til at designe nye computere, men det er kort tid siden, at grænsefladen er blevet opdaget. Vores viden om grænsefladens egenskaberne er fortsat mangelfuld, og derfor er der lang vej, før det er muligt at anvende dem i computere. I min nuværende stilling som postdoc fortsætter jeg med at studere materialerne. Navnlig vil jeg fokusere på de bioinspirerede komponenter, der kan anvendes i selv-forbedrende computere.

Hvordan laver jeg grænsefladen?

Jeg laver grænsefladen ved hjælp af en deponeringsteknik kaldet pulserende laserdeponering. Princippet er simpelt: Først placerer jeg det ene oxidmateriale over for det andet i et vakuum-kammer. Herefter skyder jeg en kraftig laserstråle ind på det ene materiale (her Al_2O_3), som fordamper og bliver skudt afsted mod det andet materiale (her SrTiO_3). Når det rammer det andet materiale, fortættes det og lægger sig som en tynd film. Deponeringsmetoden gør det muligt at pådampe ultratynde film, hvor tykkelsen let kan kontrolleres helt ned til de enkelte atomare lag.



Hvordan ser materialerne ud?

Jeg kombinerer materialerne ved at gro ultratynde materialer på SrTiO_3 , der tidligere blev brugt som kunstig diamant. Både SrTiO_3 og de ultratynde film er gennemsigtige, og derfor er materialerne også velegnet til at lave gennemsigtig elektronik.

