Øvingsoppgave i TFE4220

Av

Furkan Kaya

«Hvorfor er det interessant å benytte seg av nanoskala komponenter?»

Ultima ratio

Introduksjon til nanoteknologi; elektronikk, fotonikk og magnetisme

I dette essayet skal jeg se nærmere på rollen nanoskala komponenter kan spille innen elektronikken. Ettersom emnet er ganske så vid og det er en begrensning på sidetallet vi kan skrive, så vil jeg forsøke å snevre oppgaven til å gjelde datamaskiner og elektronikken rundt det. Tekstoppbygningen vil være slik at jeg først gjennomgår noen nanoskala komponenter som er viktige for funksjonen av en datamaskin, før jeg går inn på forskjellige måter de kan benyttes i elektronikken.

For en datamaskin så er det flere komponenter i hardwaren som er viktige for dets evne til å fungere. Det kanskje viktigste aspektet ved det er det som omtales som integrerte kretser. Klokkefrekvensen til en datamaskin er avhengig av størrelsen på disse kretsene ettersom det lengste et elektrisk signal kan vandre på et nanosekund er 0.3 m. Det gjør at mindre komponenter øker klokkefrekvensen (CPU)[[1]](#footnote-1). På disse kretsene ligger det milliarder av transistorer. Transistorer har den funksjonen at de regulerer strømmen eller spenningen mellom to ledninger[[2]](#footnote-2). De integrerte kretsene ligger igjen på et halvleder-material, som oftest silisium. En halvleder har den egenskapen at det noen ganger leder elektrisitet, mens det noen gang ikke gjør det. Innenfor alle disse områdene (klokkefrekvens, transistor og halvleder) har nanoteknologi potensiale til å bidra til forbedringer.

Halvleder-aspektet er kanskje der hvor nanoskala komponenter først kan gjøre sin inntreden. Det er allerede nevnt ovenfor i teksten at dagens halvledere er laget av silisium-materiale. Ved lav temperatur fungerer halvledere som isolator og tillater ikke elektronflyt, mens de ved høy temperatur leder strøm[[3]](#footnote-3). Silisium blir dopet med forskjellige andre materialer og det blir dannet ledninger som har fått økte leder og ikke-leder egenskaper på hver sin side av ledningen. Retningen til elektronfeltet går fra n-dopet til p-dopet side. Her er n og p avhengig av hvilke materialer som silisium blir dopet med[[4]](#footnote-4). Nanoskala komponenter er interessante i dette øyemed som en følge av at silisium som halvleder kan erstattes hvis man ønsker høyere konduktivitet.

Det mest aktuelle materialet som kan erstatte silisiums rolle som halvleder er grafen. Ved å rulle sammen grafen kan man lage karbon nanorør, som igjen kan brukes som halvleder i transistorer[[5]](#footnote-5). Grafen igjen kan dannes ut i fra grafitt, slik det ble gjort av Andre Greim og Konstantin Novoselov i 2004. Interessant er også det faktumet at Norge er en av verdens største produsenter av grafitt, sammen med Kina og USA[[6]](#footnote-6). Det er flere grunner til at grafen kan erstatte silisium. Grafen er det sterkeste materialet vi kjenner til dags dato. For å sammenligne det med stål for eksempel, så har grafen en styrke på 48.5 \*10^3 kN\*m\*kg^-1, mens tilsvarende tall for stål er 1.54\*10^2. I tillegg så er nanorørene enkle å forme ettersom de ikke er sterke under press. Elektromagnetiske systemer på nanonivå er preget av svært høye frekvenser, og til tross for at massen til elektronene er 10^-3 av selv det minste atom, så har det stor effekt i disse elektromagnetiske bølgene[[7]](#footnote-7). Nanorørene har utmerket konduktivitet ettersom resistiviteten i dem er konstant og dimensjonene til nanorørene er på størrelsen til elektronbanene[[8]](#footnote-8). Metalliske karbon nanorør med et lag, bør være i stand til å frakte elektronstrøm 1000 ganger sterkere enn sølv og kopper, som jo som kjent var det den første lyspæren ble laget av. Styrken og konduktiviteten til nanorørene gjør dem ypperlige til bruk som halvledere siden de klarer å håndtere de enorme frekvensene på kvantenivå.

Det siste punktet som er viktig for halvledere er dets varmekonduktivitet. Dette fordi 99 prosent av en datamaskins volum blir brukt til nedkjøling og strømgenerering. Kun 1 prosent blir brukt til faktiske komputasjoner og prosessering av informasjon[[9]](#footnote-9). Nanorør har termal konduktivitet på 6000 W\*m^-1\*K-1, mens kopper har på 385. Ut i fra det vi har lest frem til nå kan vi se at grafen har egenskaper som er overlegne andre materialer som kopper og sølv. Sammenlignet med silisium har silisium en termal konduktivitet på 149, men det har en høy konduktivitet. Likevel har grafen 200 ganger større konduktivitetsevne enn silisium[[10]](#footnote-10). Det har altså potensiale til å overgå silisium som halvleder basert på dets egenskaper. Istedenfor å fortsette Moores lov, som tilsier at transistoren blir halvert og prosessorkraften fordoblet hvert halvannet år, så kan man erstatte silisium-teknologien med grafen som halvleder.

Både multinasjonale konglomerater som IBM og land med fokus på elektronikk som Sør-Korea (Samsung) jobber frenetisk med å erstatte silisium-halvlederen med grafen. IBM har patentert en grafen-transistor, men de har hatt problemer med å stoppe elektronstrømmen. Det betyr altså at det ikke er en halvleder ettersom den ikke har isolator-egenskaper[[11]](#footnote-11). Hvis man klarer å få en grafen-transistor på markedet, så kan man ikke bare øke styrken på datamaskinen slik forholdet mellom egenskapene til silisium og grafen tilsier, men man kan også få elastiske egenskaper på de elektroniske redskapene som kan bøye seg ettersom nanomaterialet grafen har så sterke bindinger at det bøyes fremfor knekkes.

Den andre måten å øke en datamaskins yte-evne på er å øke antallet transistorer på et integrert kretskort. Transistor er en halvleder som er fremstilt av silisium. Dette nevnes for å påpeke at her skal ikke materialet skiftes ut med et nanomateriale, som i ovenfor nevnte avsnitt, men at det skal foregå en nedskalering av et allerede eksisterende et. I henhold til Moores lov så begynner silisium-teknologien å nærme seg et sluttpunkt. Det kan rett og slett ikke foregå en ytterligere forminskning av transistorer. Mens transistor-størrelsen på Intel Pentium 4 i 2004 hadde linjebredde på 90 nm, så tilsier loven at vi i dag skal ha en linjebredde på nærmere 10 nm. Dette er av økonomiske hensyn ikke særlig lønnsomt, man trenger fasiliteter på flere hundre milliarder dollar for å gjennomføre produksjonen av mikrochiper på dette skalaet[[12]](#footnote-12). I tillegg så trengs det fotolitografi av et høyere energinivå til å oppnå resolusjon på nanoskalanivå. Fotolitografi har for øvrig også en grense på 70 nm.

For at man skal kunne få flere transistorer på de integrerte kretsene er det flere teorier om hva man kan gjøre. Men en helt avgjørende teori er ideen om en ned-opp strategi fremfor dagens topp-ned bygging av transistorer. Et eksempel på dette er et forsøk som ble gjort av forskere i Australia. Moores lov sier at man i år 2020 skal komme til en størrelse på transistorer som er på nivå med et enkelt atom. I forsøket klarte man ved hjelp av et STM-mikroskop å lage en sterkt dopet silisium-transistor hvor et fosforatom er plassert inn med en distanse på et atoms lengde. Man klarte å registrere spenning og tre forskjellige elektrontilstander, noe som tyder på at det er mulig å lage et-atoms elektroniske redskaper som er kontrollert av ledninger på atomært nivå[[13]](#footnote-13). Det faktum at man brukte silisium-atomer gjør denne forskningen ekstra relevant ettersom dette jo er et allerede viden brukt materiale i kontrast til det nye materialet grafen. Når en slik transistor kommer på markedet, så vil naturligvis antallet transistorer på en integrert krets øke betraktelig.

En annen måte å bekjempe transistor-problemet på er en overgang til mekaniske nano-datamaskiner. Her er tanken, slik fremsatt av den fremste talsmannen Eric Drexler, at dagens mikroelektronikk hvor volt av puls-signaler representerer digitale signaler og bruk av transistorer er gjeldende, skal erstattes med en mekanisk nanodatamaskin. For en mekanisk nanomaskin skal det være forflytningen av solide rør som skal representere det digitale signalet. Den skal fungere omtrent som de mekaniske kalkulatorene som fungerte frem til 1970-tallet. Nanokomputeren skal i teorien inneholde 106 transistorer låst sammen (interlocks) i en 400 nm kube, med en klokkefrekvens på 1 GHz og med forbruk av 60 nW av kraftkonsumpsjon. Interlocket skal kontrollere mobiliteten til de solide rørene[[14]](#footnote-14). Hvis vi multipliserer dette med arealet til en ordinær datamaskin får vi en enorm kraft. Med 1000000 av disse kubene, så fyller man en plass på 0.4 m og får teoretisk en klokkefrekvens på 1000 THz. Det er verdt å merke seg at denne prosessen er også en bunn-opp metode[[15]](#footnote-15).

Den tredje måten å øke en datamaskins kapasitet på er gjennom å øke klokkefrekvensen ved bruk av biologiske materialer. Inspirert av naturens evne til selvorganisering og hvordan forskjellige biologiske vesener er bygget opp, som for eksempel mennesket, klarer man å bygge prosesser og strukturer på høyere nivå. Her er molekyler og biologiske materialer som DNA og protein aktuelle redskaper[[16]](#footnote-16). Istedenfor dagens RAM-minne kan man kanskje ha noe som klarer å kopiere DNAs måte å lagre på. Det bruker 50 atomer til å lagre 1 bit informasjon om cellen. For moderne hard disker er tallet på 1 million[[17]](#footnote-17). En prototype av en biologisk maskin har allerede blitt laget[[18]](#footnote-18). En mekanisk datamaskin (altså ikke elektronisk) som imiterer måten molekyler oppfører seg på i en levende celle. Prototypen laget av Ehud Shapiro kan føre til datamaskiner mindre enn en celle, nærmere sagt på størrelse med en ribosom.

Men det virkelige store spranget kan komme med en prototype av en datamaskin inspirert av den menneskelige hjernen[[19]](#footnote-19). Maskinen er drevet av og blir avkjølt av en væske slik menneskehjernen blir. Det fungerer slik at elektrolytisk væske av for eksempel vanadium blir plassert inn i en datamaskin fraktende strøm og tar med seg varme ut. En væske blir brukt for å omgå dagens teknikk av å plassere mikrochiper ved siden av hverandre (denne teknikken blir brukt for å unngå at varmen blir plassert inne i mikrochippene). Man kan da legge chiper over hverandre og avkjøle dem ned med væske slik allerede gjort på noen supermaskiner. Hovedproblemet ligger i å finne en væske som både kan frakte strøm inn og varme ut av disse vannpipene, slik blodet kan for hjernen. Her er vanadium det beste alternativet og målet for IBM er zetta-komputasjon (10^21).

Av de tre metodene for introduksjon av nanoskala komponenter inn i datavitenskapen, så kan de klassifiseres inn i tre grupper etter hvor aktuelle de er: veldig aktuell (ytterligere nedskalering av transistorer), potensielt aktuell (grafen) og futuristisk aktuell (biologiske nano komponenter som erstatning for dagens teknologi). Vedrørende den første gruppen; Moores lov tilsier at dette ikke lenger skal være kompatibelt med økonomisk lønnsomhet. Men forsøket i Australia med transistorer på atom-størrelse viser at silisium som halvleder kanskje kan fungere i en liten periode til. En periode med silisium-teknologi kan være mulig i 15 år til. Dette skyldes at det egentlig ikke finnes noen reelle alternativer til det. Å erstatte den elektroniske teknologien med mekaniske nanodatamaskiner høres ut som en interessant tanke i teorien, men så langt har det ikke hatt så mye å si for den vanlige mann og kvinne. Det har blitt med prototyper som den Ehud Shapiro har utviklet.

Grafen har egenskapene til å erstatte både silisium og tendensen med å konstant nedskalere transistorer. Men det er veldig avhengig av å finne en transistor som fungerer og kan stoppe elektronstrømmen. Det er ikke en halvleder før den klarer det. Selv om det har alle egenskapene til å fungere og til og med skape en teknologisk revolusjon, så ble det plassert i kategorien potensielt aktuelt som en følge av at det kan tid før det kommer noe funksjonelt ut på markedet. I tillegg så man må få til en storstilt industriell produksjon av grafen fra grafitt (grafen kan omtales som et enkelt lag av grafitt). Kostnadene av å produsere grafen gjennom epitaksi er fortsatt for store til at man kan innføre dette i masseproduksjon av datamaskiner. Til tross for dette er det fortsatt langt større sannsynlighet for at det kommer tidligere «på markedet» enn datamaskiner med biologiske nanoskala komponenter. Derfor blir også den gruppen av komponenter plassert i båsen futuristisk aktuell. Hvis prototypene kan produseres, så vil de ha en stor effekt på datavitenskapen og øke yteevnen betraktelig. Likevel så er det meste fortsatt bare på tegnebordet ennå. Å imitere menneskehjernen for eksempel høres unektelig spennende ut, men per dags dato ikke praktisk mulig. Selv forskerne (ildsjelene og optimistene rund dette) peker på datoer som 2050 og over når de skal oppgi tidsskjema og derav aktualitet.

Alle de tre metodene i teksten som har blitt analysert har hatt to ting til felles. Det ene er at nanoskala komponenter var drivkraften i dem og den andre var at alle metodene forbedret yte-evnen og funksjonaliteten til datamaskin-teknologien betraktelig. Av den grunn er nanoskala komponenter interessante for den moderne elektronikken generelt og datavitenskapen spesielt. Ved hjelp av disse komponentene på nano-nivå er det muligheter for teknologisk fremgang som overskrider alt det som er mulig med dagens teknologi. Det er da nødvendig å påpeke at nanoskala komponenter ikke bare er interessante, men avgjørende for moderne datavitenskap.

**Litteraturliste:**

* Drexler, Eric (1991) *Molecular machinery and manufacturing with applications to computations*. Doktorgrad. Cambridge : Massachusetts Institute of Technology
* Hornyak, Gabor L., Tibbals, Harry F., Dutta, Joydeep og John J. Moore (2009) *Introduction to nanoscience and nanotechnology*. Boca Raton : CRC Press
* Wang, Alf I., Midtstraum, Roger (2012) *Theory Book . IT grunnkurs.* Essex : Pearson Education Unlimited
* Peck, Morgen (2013) “Miracle material”, thefinancialist.com, <http://www.thefinancialist.com/miracle-material/> (hentet 09.11.2013).
* Simmons, Michelle (2012), “A single-atom transistor”, *Nature Nanotechnology*, 7 : 242- 246
* Morgan, James (2013) “IBM unveils computer fed by “electronic blood””, bbc.com <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-24571219> (hentet 09.11.2013)
* Drexler, Eric (2013) “Big nanotech: towards post-industrial manufacturing”, theguardian.com, <http://www.theguardian.com/science/small-world/2013/oct/14/big-nanotech-post-industrial-manufacturing-apm> (hentet 11.11.2013)
* Whitehouse, David (1999) “Biological computer prototype unveiled”, bbc.co.uk, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/370035.stm> (hentet 11.11.2013)

1. Alf Inge Wang, “ Theory book – IT Grunnkurs”, s. 37-42 [↑](#footnote-ref-1)
2. Gabor L. Hornyak, «Introduction to nanoscience and nanotechnology», s. 927 [↑](#footnote-ref-2)
3. Ibid s. 937 [↑](#footnote-ref-3)
4. Ibid s. 944 [↑](#footnote-ref-4)
5. Ibid s. 457 [↑](#footnote-ref-5)
6. The Financialist (2013) [↑](#footnote-ref-6)
7. Eric Drexler, “Molecular machinery and manufacturing with applications to computation”, s.40 [↑](#footnote-ref-7)
8. Hornyak s. 461 [↑](#footnote-ref-8)
9. BBC News (2013) [↑](#footnote-ref-9)
10. The Financialist (2013) [↑](#footnote-ref-10)
11. Ibid [↑](#footnote-ref-11)
12. Hornyak s. 950-951 [↑](#footnote-ref-12)
13. Nature Nanotechnology (2012) [↑](#footnote-ref-13)
14. Drexler s. 393-435 [↑](#footnote-ref-14)
15. The Guardian (2013) [↑](#footnote-ref-15)
16. Hornyak s. 951 [↑](#footnote-ref-16)
17. Ibid s. 952 [↑](#footnote-ref-17)
18. BBC (1999) [↑](#footnote-ref-18)
19. BBC (2013) [↑](#footnote-ref-19)