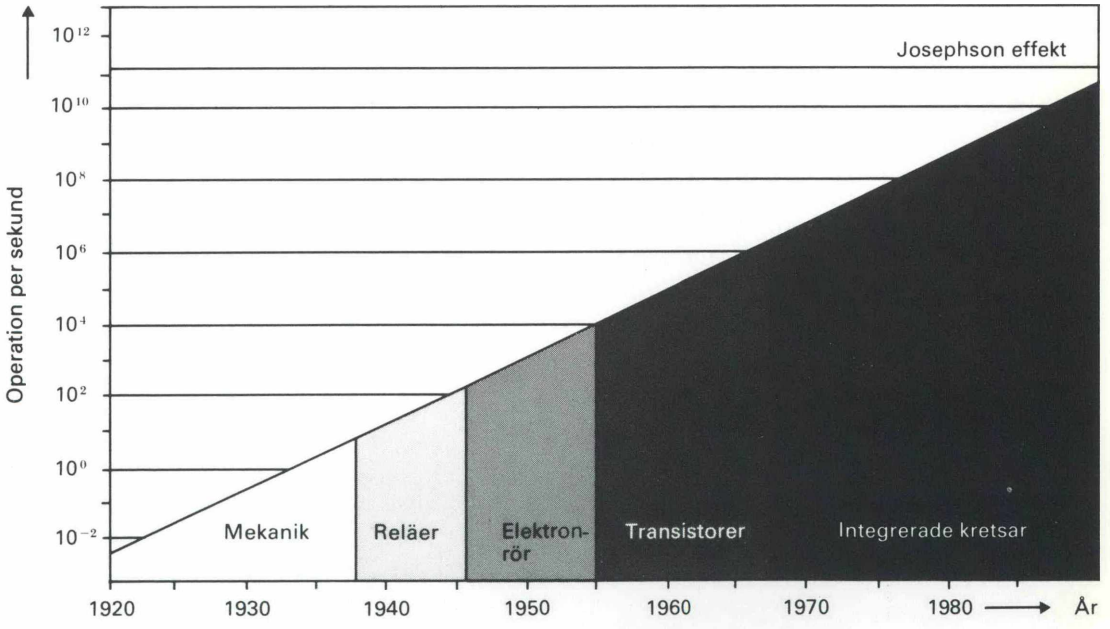
Den elektroniska revolutionen

– mindre, snabbare, billigare och bättre

Av Eric Dyring

Vi står mitt uppe i den elektroniska revolutionen. Det har vi gjort ganska länge. Styrkan har inte avtagit, snarare har den vuxit sig allt starkare. Något slut kan vi heller inte skönja.

Revolution är ett starkt och värdeladdat ord. Det beskriver en snabb och våldsam förändring. Trots detta är ordet revolution en bra beskrivning på den elektroniska utvecklingen, som skapat förutsättningarna för dagens avancerade teknologi och som ständigt erövrar nya områden.



1. Utvecklingen av räknehastighet – operationer per sekund – från 1920-talet. Datorerna har blivit allt snabbare genom utnyttjande av ny teknologi. Efter Tage Frisk, IBM.

Elektronikens tekniska och vetenskapliga historia är lång. Dess rötter går tillbaka till 1600- och 1700-talen, då de elektriska fenomenen började kartläggas. Vetenskapsmän som Gilbert, Gray och Faraday samt senare tiders Maxwell och Lorentz bidrog på olika och avgörande sätt till vår förståelse av elektricitetens natur.

Elektricitet handlar om att sätta elektroner i rörelse och låta dem utföra olika slags arbete.

Vissa atomer håller sina elektroner i hård disciplin medan andra gärna och ofta utväxlar sina elektroner med grannatomerna. Metaller som koppar, aluminium, silver och guld innehåller stora mängder fria elektroner, som irrar omkring mellan atomerna. Genom att utsätta dem för en elektrisk spänning kan de med nästan ljusets hastighet rusa iväg mot samma mål. Ett sådant ämne kallas *ledare.* Andra ämnen däremot släpper inte fram några elektroner alls. De är *isolatorer.*

Elektroniken handlar om att sätta elektroner i arbete för att förändra och styra elektriska strömmar. De kan då utföra olika former av logiskt arbete, bära och distribuera information och mycket annat.

Det rör sig om svaga strömmar och korta elektriska pulser. Begreppet elektronik kan sammanfattas som läran om elektricitetens ledning i vakuum, gaser och halvledare. *Halvledare* är ämnen vars förmåga att leda elektroner ligger mitt emellan ledare och isolatorer.

Dagens elektronik bygger på den moderna halvledaretekniken. Men födelsen går tillbaks till slutet av 1800-talet. 1897 visade engelsmannen J J Thompson att elektriska strömmar byggs upp av elektroner och att dessa kan färdas genom vakuum och styras av elektriska fält.

Det första elektronröret

Detta ledde snabbt till utvecklingen av elektronröret. Redan 1904 uppfann Ambrose Fleming dioden. I ett lufttomt utrymme upphettas en metalltråd så att den avger elektroner. Påverkas dessa av ett elektriskt fält kan de fås att rusa mot en elektrod. De kan bara strömma åt ett håll.

1907 uppfann Lee de Forest en metod att reglera elektronströmmen i dioden. Han satte in ett styrgaller och trioden var ett faktum. Därmed var den moderna elektroniken född. Tekniken att bryta, styra och reglera elektriska pulser och strömmar blev snabbare och mer användbar än den mekaniska teknik som byggde på kontakter och reläer.

Elektroniken födde nya uppfinningar

Slag i slag följde upptäckter som byggde på elektronik – radio, TV, radar, dator och mycket annat.

Framför allt datorn är en storförbrukare av elektronik. Att bygga en maskin, som automatiskt och snabbt kunde genomföra komplicerade matematiska beräkningar var en gammal önskedröm.

Militära behov under andra världskriget skyndade på utvecklingen. Man ville snabbt kunna beräkna projektilbanor, göra sannolikhetsberäkningar och bryta hemliga koder.

Den första datorn MARK 1 från 1944, använde sig av reläer. Året efter var den första datorn ENIAC, som använde elektronrör, klar. Elektronrören var dock klumpiga och drog massor av energi för att fungera. Datorn krävde tiotusentals av dem för att fungera. En ny teknik var efterlängtad.

Transistorn

Den nya tekniken väntade bakom hörnet. Uppfinningen av transistorn, en liten kompakt komponent, som inte krävde vare sig vakuum eller värme för att fungera, startade en ny era.

Det var ingen slumpuppfinning. Det var resultatet av forskning sedan sekelskiftet kring kristallers uppbyggnad och deras elektriska egenskaper. Kristallen selen hade till exempel ganska länge använts som likriktare.

Det stora amerikanska företaget Bell Telephone Laboratories beslutade i slutet av 1930-talet att satsa på detta slags forskning. Man ville främst kartlägga de elektriska egenskaperna hos halvledare som germanium och kisel.

Andra världskriget kom emellan och då annat utvecklingsarbete prioriterades fick projektet vänta till detta var slut. Åren 1947–48 nådde man epokgörande resultat. Den första transistorn började fungera den 23 december 1947.

Nobelpriset 1956

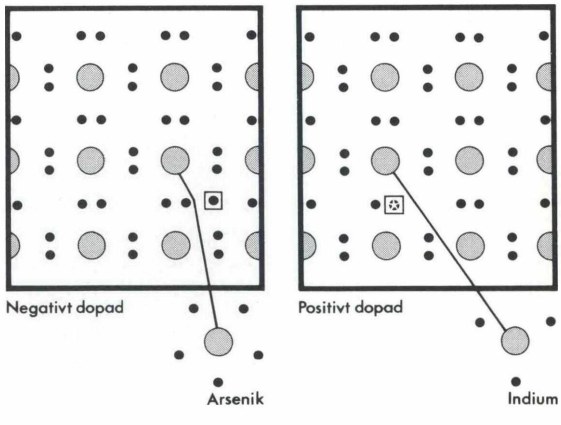
Först uppfann John Bardeen och Walter Brattain spetstransistorn. Den kunde förstärka och styra elektriska strömmar precis som trioden. Professor P A Tove i Uppsala konstaterar i en artikel i Svenska fysikersamfundets årsbok *Kosmos* 1972 att metoden att utnyttja elektronernas strömmar inte var ny. Den hade använts i kristalldetektorn i radioteknikens barndom. Denna kristall var av blysulfid. Genom att röra en tunn metalltråd över kristallens yta kunde man leta sig fram till bästa mottagning, dvs där bästa likriktande effekt gav största signal.

Spetstransistorn liknar i mycket den gamla kristallmottagartekniken, se bild 3. Som halvledare användes germanium. Den har mycket regelbundet kristallmönster. Nästan omgående förbättrades tekniken när William Shockley skapade kontakttransistorn, se bild 3.

Alla tre forskarna vid Bell fick dela på Nobelpriset i fysik 1956.

2. I transistorn styr man lösa elektroner att strömma i önskad riktning. Det gäller att i lämpliga halvledarmaterial få elektroner tillgängliga för denna uppgift. Det sker bland annat genom att inympa – dopa – ämnen som germanium och kisel med atomer av annat slag.

Bilden visar halvledaren germanium dopad med arsenik och indium. Det skapar negativt respektive positivt dopade skikt, som bygger upp den vanliga transistorfunktionen. Teckning: Kent Enström.



Elektroniska revolutionen tar fart

Upptäckterna var revolutionerande men mötte först begränsat intresse. Det skulle dröja flera år in på 1950-talet innan den elektroniska revolutionen satte igång på allvar. 1951 började den industriella tillverkningen av kontakttransistorn.

Förutom att accelerera den elektroniska utvecklingen så kom upptäckten av transistorn att fokusera intresset på forskningsområdet fasta tillståndets fysik. Det fick med ens hög prioritet.

De första transistorerna tillverkades av germanium, en halvledare som hade sina nackdelar. Den är bland annat känslig för hög temperatur. Etablerade elektronikföretag som General Electric, Westinghouse och Sylvania hade därför svårigheter att sälja produkten.

Det blev istället nya företag, som växte fram under 1950-talet, som visade vägen. Ett av dessa företag, Texas Instruments, började 1954 tillverka transistorer av kisel, ett av de vanligaste grundämnena på jorden, som tålde avsevärt högre temperatur och tålde större strömmar.

Bakom detta låg en helt ny metod att framställa tillräckligt rent kisel, utvecklad av G. K. Teal vid Texas Instruments. Det företaget ryckte snabbt fram som ett av de ledande inom halvledarindustrin, en position man behåller idag, 1981.

Transistorn ersätter elektronrören

Transistorns litenhet blev dess styrka. Den kom snart att ersätta elektronrören i elektroniska produkter, som man ville ha i små dimensioner, till exempel hörapparater.

Den första heltransistoriserade radion kom ut 1958 tillverkad av japanska Sony.

Men det var datorn med alla sina likartade elektroniska kretsar – tiotusentals grindar – som var transistorns stora marknad. Transistorn var också energisnål.

I slutet av 1950-talet kom de första heltransistoriserade datorerna ut på marknaden. Det gav en kraftig draghjälp för halvledarindustrin då en dator behöver stora mängder halvledare. Halvledarteknik och datorer har påverkat varandra intensivt – de har växeldragit för varandra.

Men den verkligt stora draghjälpen fick halvledarindustrin av den amerikanska militären och rymdforskningen. De hade ett snabbt växande behov av logiska hjälpmedel i kompakt utförande i satelliter och vapensystem.

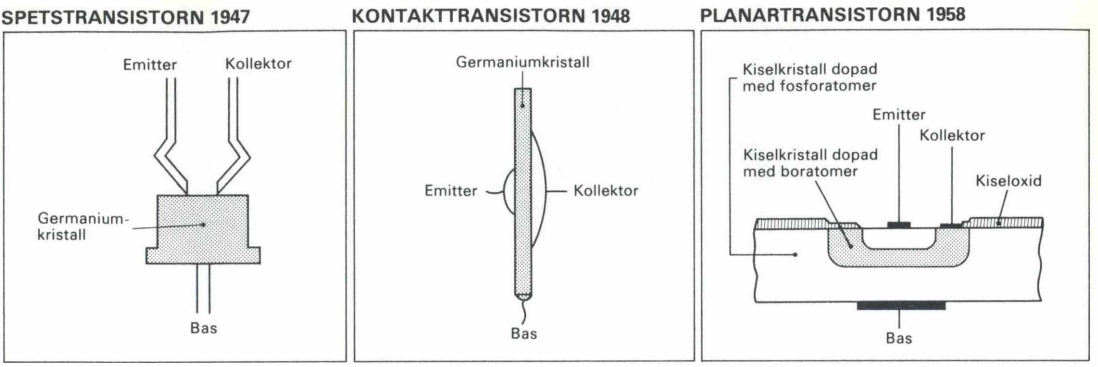
Planartransistorn

De första tio årens transistorer var ”enskilda individer”, separata enheter, som måste kopplas samman till elektroniska system via lödningar och ledningar. Men halvledartekniken innehåller genom sin natur förutsättningar för en oerhört mycket mer avancerad och rationell teknik.

Forskningen inom fasta tillståndets fysik och det intensiva utvecklingsarbetet inom halvledarindustrin laddade i slutet av 1950-talet upp för nästa stora genombrott.

1956 presenterade Torkel Wallmark, då vid RCA nu professor vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg principen för fälttransistorn, FET.

1958 följde Jean Hoerni vid Fairchild med principerna för planartransistorn. Genom att lägga ett tunt lager av kiseloxid – ett av de bästa elektriskt isolerande material som finns – ovanför en tunn platta av halvleda-



3. Principerna bakom de tre typerna av transistorer, som lett utvecklingen, spets-, kontakt- och planartransistorn. De senare, där man etsar in komponenter och elektriska strukturer direkt i tunna kiselskikt är grunden för dagens avancerade små chips, som bara är några millimeter stora. Teckning: Kent Enström.

ren kisel kunde transistorn formas som en tunn och liten platta – chips.

Detta var ett nytt epokgörande tekniskt genombrott. Det gav nämligen möjligheten att i en enda sammanhållen teknisk produktion och utan kostnads- och tidskrävande ledningsdragning sätta samman hela logiska kretsar, ja många logiska kretsar på ett och samma halvledarstycke. Samtidigt med Hoerni funderade Jack Kilby vid Texas Instruments på principerna för en billig och liten elektronisk krets. Den 12 september 1958 ritade och beskrev han den första sammansatta (integrerade) kretsen – en fasskiftsocsillator – i sina anteckningar.

Redan 1952 hade dock G W A Dummer vid Royal Rader Establishment i England utvecklat idén om den integrerade kretsen men den togs då inte till vara.

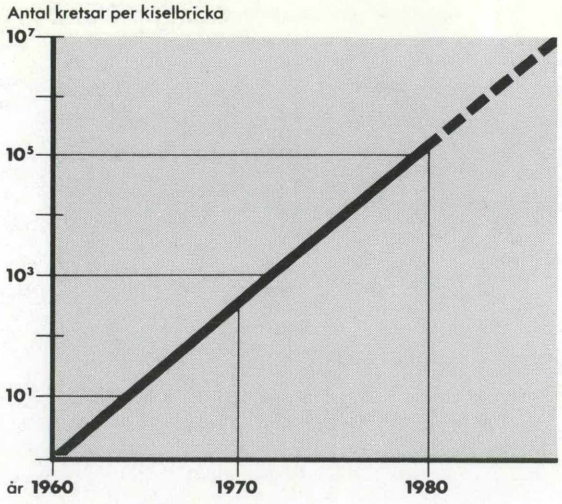
Hoernis och Kilbys uppfinningar lade grunden till den kommande snabba utvecklingen. En av Hoernis kolleger vid Texas Instruments Robert Noyce lade ytterligare en grundplåt för industriell massproduktion av integrerade kretsar. Han visade att man kunde använda aluminium för att elektriskt binda samman de olika komponenterna i en kiselplatta.

Det blev företaget Fairchild Semiconductors, som utvecklade den första produktionsapparaten för integrerade kretsar. I slutet av 1950-talet kunde militären i USA och rymdindustrin ta den nya tekniken i bruk. Omkring 1963 började de också uppträda i civila produkter.

Explosionen

Nu exploderade utvecklingen. Med häpnadsväckande snabbhet utvecklades metoden. Man lärde sig att med hjälp av sinnrikt utnyttjande av de elektriska egenskaperna hos halvledare, ledare och isolatorer framställa olika slags elektroniska komponenter och bygga dem samman till logiska kretsar i stort antal på en och samma chips.

Detta krävde en snabb utveckling av nya avancerade produktionsmetoder och en kvalitetskontroll, som hittills inte någon industribransch haft behov av.



4. Antalet kretsar och komponenter per kiselbricka – chips – har ökat från en enda 1960 till närmare en miljon år 1981. Och utvecklingen går vidare. Teckning: Kent Enström.

Miniatyriseringen har gått oerhört fort. På en millimeterstor kiselplatta – chips – fick man 1960 plats med en enda elektronisk krets. Idag, 1981, är siffran flera hundra tusen.

1971 kom ett nytt genombrott. Den första chipsen, som innehöll hela centralenheten till en liten dator – mikroprocessorn Intel 4004 – utvecklades av det unga företaget Intel. En nyckelperson var Robert Noyce, som varit med från början i Fairchild Semiconductors.

Moores Lag

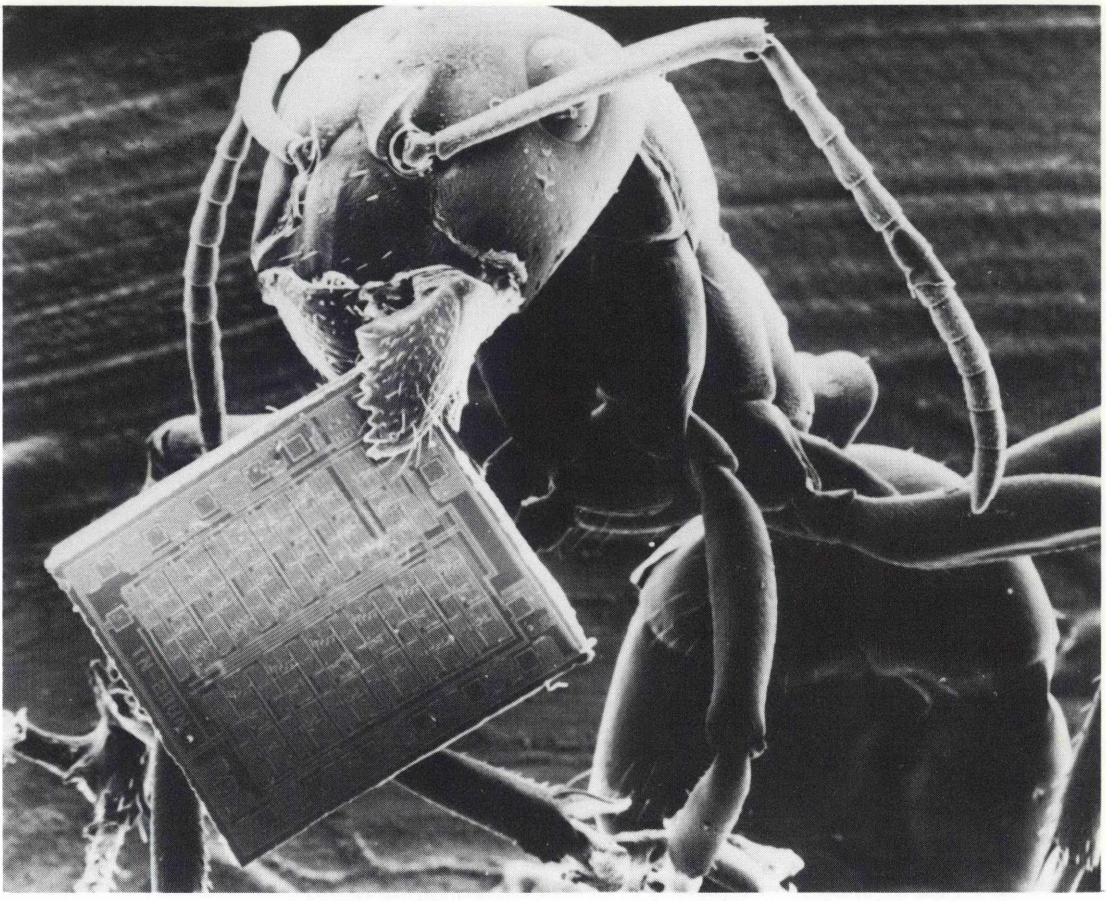
Halvledarindustrin insåg snabbt utvecklingsmöjligheterna. 1965 formulerade Gordon Moore vid Fairchild Semiconductors en speciell lag över tillväxten. Han förutsade att packningstätheten av komponenter på en chips skulle fördubblas varje år. I stort har lagen hållit.

Men nu i början av 1980-talet verkar det som om ökningstakten kanske håller på att dämpas. Varje steg blir allt tekniskt svårare att genomföra, samtidigt som utvecklingskostnaderna nu börjar bli för höga. Vi har ännu långt till de fysikaliska och tekniska gränserna för den möjliga utvecklingen.

Nya tillverknings-metoder

Hela den elektroniska revolutionen är späckad av innovationer och nya tekniska lösningar. Halvledarteknikens historia är som ett pärlband av uppfinningar. Den intresserade kan läsa om dem och när de gjordes i G W A Drummers bok *Electronic Inventions 1745–1976.*

Halvledarindustrins tillväxt har byggt på en nära samverkan mellan utveckling av nya produkter och ny epokgörande produktionsteknik. Den har kunnat tillfredsställa marknaden med nya produkter tillverkade i massupplaga till allt billigare styckepris och under rigorös kvalitetskontroll.



5. Sedan 1960 har elektronikens miniatyrisering gått oerhört snabbt. Den här bilden – tagen med ett svepelektronmikroskop – demonstrerar de små dimensionerna. Myran håller en kiselbricka – chips – i munnen. Foto: Philips.

En stor del av kreativa kraften har utnyttjats för att automatisera och rationalisera tillverkningen. Framför allt har metoderna att etsa in allt finare detaljer på kiselplattan genomgått en enorm utveckling under 1960- och 1970-talen.

Miniatyriseringen har gått snabbt. Tillverkningen sker främst med fotografisk teknik. Ljus av olika våglängd överför kretsarna på fotokänsligt material. Fotokemiska processer etsar fram den tredimensionella elektriska strukturen i halvledarmaterial och isolerande skikt.

Ju kortare våglängd på ljuset, som används, desto finare detaljer kan etsas in. Ultraviolett ljus är idag vanligt förekommande i massproduktionen av chips. Detaljer med en bästa upplösning på 5 mikrometer (miljondels meter) kan reproduceras.

Men utvecklingen går mot allt tätare packning av kretsarna med allt finare detaljer. Nu är siktet inställt på att nå upplösning i submikrometerområdet, dvs detaljer finare än en tusendels millimeter skall kunna framställas.

Under andra hälften av 1970-talet har man experimenterat med röntgenlitografi och elektronstråleetsning med allt större framgång.

Det stora datorföretaget IBM har bland annat noterat stora framgångar. De har redan elektronstråletekniken utnyttjad i produktionen för vissa kretsar. Detta är *det minsta* människan kan tillverka med direkt teknik i löpande produktion.

Sensorer

Forskningen om det fasta tillståndets fysik har lärt oss allt mer om olika ämnens struktur och fysiska egenskaper. Det handlar inte bara om hur elektronerna förflyttas i ämnet utan också om vad som händer vid låga och höga temperaturer, vilka magnetiska egenskaper ämnet har och hur ämnet påverkas om det utsätts för tryck, ljus, ljud, temperatur med mera.

Idag finns en mängd sensorer – mätorgan – i marknaden, som kan känna av både kvalitativt och kvantitativt olika fysiska egenskaper och överföra den informationen i elektrisk form. Halvledarna kan idag göra mycket mer än att styra och förändra elektriska pulser och strömmar. De kan själva producera information i form av elektriska signaler.

Bilderna på tur

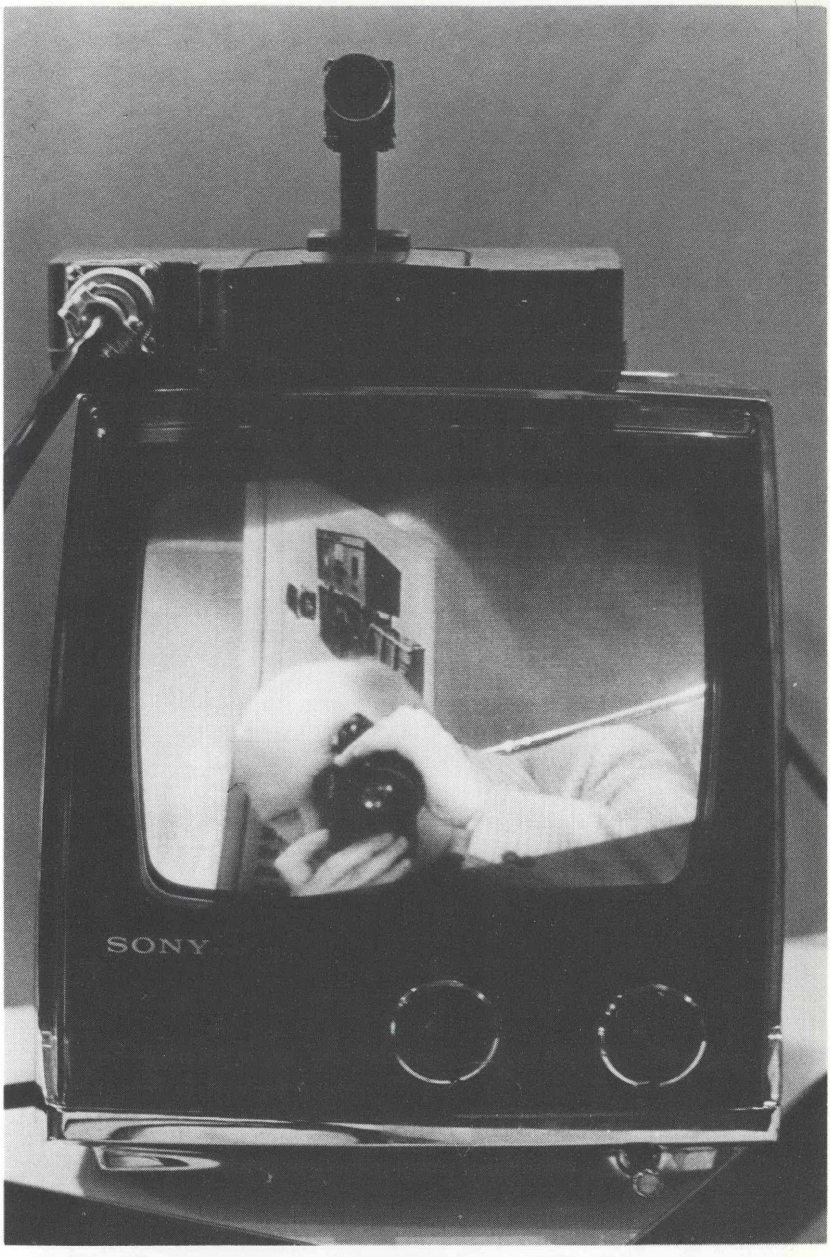
Den elektroniska revolutionen gör sig användbar på allt fler områden. Hittills har den dock hejdat sig inför bildområdet. En bild innehåller nämligen mycket stora mängder information. Elektronik och datorer har som regel storknat inför uppgiften att till exempel hantera de nästan 10 miljoner informationsbitarna i en vanlig färgbild om alla dess detaljer och valörer skall överföras i det digitala språket.

Fototekniken föddes 1839. Sedan dess har den dominerat bildtekniken. I mitten av 1920-talet trädde dock en ny teknik fram – TV. Den omsatte ljusinformationen i elektriska signaler så att de kunde överföras via kabel och radiovågor.

Från och med andra världskriget börjar denna elektroniska bildteknik utvecklas i allt snabbare tempo. TV-tekniken arbetar analogt med hjälp av elektronstrålar. Den nya tekniken avsöker motivet med roterande speglar och prismor. Linser samlar upp informationen mot ljuskänsliga kristaller, som omvandlar ljuset i elektriska signaler. Tekniken kan också spalta upp ljuset i olika våglängder. De elektriska signalerna i dessa så kallade svepfotometrar är digitala och lätt anpassade till datorer för att hantera och bearbeta bilderna.

Inte oväntat har denna teknik drivits fram främst av militära behov av avancerad spaning och nya former för att kartlägga jordytan och atmosfären från satellit.

Nu stiger halvledartekniken in på bildområdet. Elektronröret i TV-kameran, de roterande speglarna och prismorna kan ersättas med en ljuskänslig platta, uppbyggd av ett nätverk av mycket små ljuskänsliga kiselceller. Den tekniken börjar också framträda som den första allvarliga konkurrenten till fototekniken.



6. Små ljuskänsliga celler sammankopplade i en mosaik – Charge Coupled Devices, CCD – samlar upp ljuset från ett motiv och omvandlar det i elektriska signaler. Mycket små TV-kameror byggda på CCD-teknik finns idag i marknaden. De är inte bara mindre utan även känsligare och hållbarare än vanliga TV-kameror.

Ovanpå den här 10-tums TV-apparaten står en CCD-kamera. Den är något större än en cigarr men levererar bilder av samma kvalitet som en vanlig TV-kamera. Den tillverkas av Fairchild Weston Systems. De skall sitta framför piloten i ett jaktplan och avbilda pilotens synfält så att det kan lagras på en videospelare. Foto: Eric Dyring.

CCD 1969 meddelade de båda ingenjörerna W S Boyle och G E Smith vid Bell Telephone Laboratories i USA att de hittat på en ny halvledarteknik för att hantera information. Elektriska laddningar kunde lagras och flyttas omkring inuti material – framställt av kisel – genom att lägga på elektriska spänningar på små elektroder på ytan av halvledarmaterialet. Metoden fick namnet Charge Coupled Devices, CCD.

En rad tillämpningar utvecklades snabbt under några år. Bland annat fick man fram ett nytt slags minne.

Det mest intressanta är dock möjligheterna inom bildtekniken. Det slags kisel, som används för att framställa CCD, är mycket känsligt för ljus. Det absorberas av materialet och bygger upp elektriska laddningar, vars storlek står i direkt relation till intensiteten av det infallande ljuset.

Med moderna tillverkningsmetoder för mikrokretsar kan ett stort antal ljuskänsliga celler etsas in på en enda chips. Var och en av dessa celler kan registrera och lagra ljus. Elektronik tar sedan hand om och bearbetar ljusinformationen från var och en av CCD-cellerna.

Ett nätverk av CCD-celler gör samma arbete som TV-kamerornas elektronför, svepfotometerns kristaller och den fotografiska filmen. Det behövs inga elektronstrålar, rörliga speglar eller slutare. Mekanik ersätts med elektronik. Bildteknikens kameror kan göras mindre, känsligare och tillförlitligare men elektroniken blir komplicerad.

Problemet är att kunna tränga ihop tillräckligt många CCD-celler på en och samma chips. Det är nödvändigt för att få en detaljrik bild. Utvecklingen går dock snabbt. I mitten av 1970-talet tillverkade Fairchild Camera and Instrument Corp CCD-chips med 10 000 ljuskänsliga celler (100×100). Idag finns TV-kameror i marknaden, som använder CCD-plattor med 500×500 bildpunkter. Det amerikanska företaget Itek har tagit fram CCD-chips med 200 000 celler. Flera chips kan kopplas samman till en platta. Varje chips är en kvadrat med 3 millimeters sida.

De första CCD-plattorna var känsliga för synligt ljus och upp till 1,05 mikron i det nära-infraröda området. Genom att kombinera olika halvledarmaterial finns idag CCD, som kan registrera ljus med längre våglängd långt upp i värmeområdet.

Ännu är CCD-tekniken inom bildområdet exklusiv. Men militärerna och rymdforskningen driver på utvecklingen. I framtiden kan vi kanske ladda kameran inför söndagspromenaden med en chips istället för en film. I augusti 1981 presenterade Sony den första elektroniska stillbildskameran. Bildområdet står med all säkerhet inför en omskakande revolution.

Galliumarsenid De första transistorerna tillverkades av halvledaren germanium. Från och med mitten av 1950-talet har kisel varit det dominerande halvledarmaterialet. Men det finns många andra användbara ämnen – gallium, arsenid, indium, fosfor med flera och kombinationer av dem. Nu börjar ett nytt halvledarmaterial att bli allt vanligare – galliumarsenid. Det är en förening mellan den relativt sällsynta metallen gallium och arsenik.

Tidigt utnyttjades dess förmåga att sända ut ljus. Galliumarsenid användes till exempel i fönstren på den första generationens räknedosor och digitalklockor för att visa siffror i lysande rött, s k Light Emitting Diod, LED.

Men galliumarsenid har andra egenskaper, som gör det intressant. På grund av dess elektronstruktur blir vissa elektroner extremt lättrörliga. Galliumarsenid kan därför användas för att tillverka mikrokretsar, som arbetar många gånger snabbare än sådana som framställts av kisel. Detta är en intressant egenskap för att få fram supersnabba mikrokretsar till superdatorer, dvs datorer som skall hantera mycket stora datormängder och räkna extremt snabbt.

Aktiva chips

En grupp mikrokretsar kan under speciella förhållanden sända ut ljus – elektromagnetisk strålning – av olika våglängd.

En typ kan fås att sända ut mikrovågsstrålning, dvs kortvågig radiostrålning. Andra typer strålar ut ljus i det synliga området. Dessa chips är ofta tillverkade av halvledaren galliumarsenid.

En annan typ, som är stadd i snabb utveckling är halvledarlaser, dvs en halvledare som sänder ut laserljus i en enda unik våglängd och där ljusvågorna är i perfekt takt med varandra. Dessa lasrar är mycket små och kan lätt byggas in i dagens miniatyriserade elektronik. Det har snabbt hittat användningsområden. Vanligt är att de kopplas samman med fiberoptik och bildar en länk mellan elektronik och optiska system i avancerad informationsteknik.

Laserchips utgör till exempel det viktigaste aktiva elementet i Philips nya teknologi för bild- och ljudskivor.

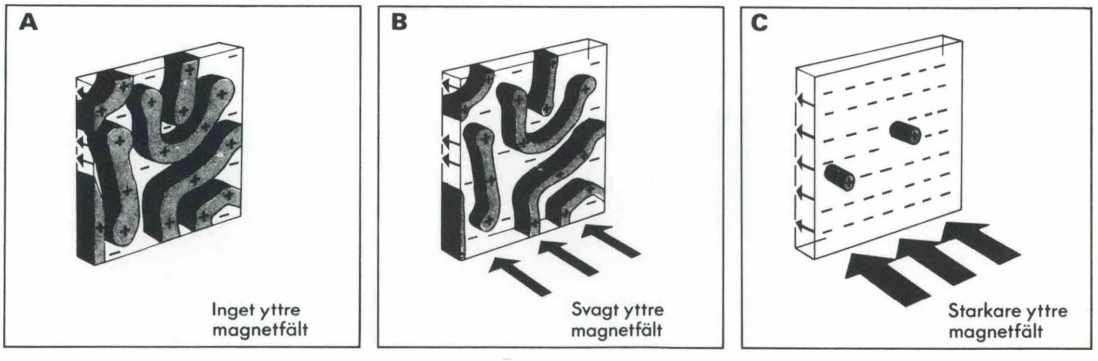
Bubbelminnen

Redan vid sekelskiftet började man inse att ett magnetiserat ämne inte var homogent. Magnetismen är koncentrerad till vissa områden, s k domäner.

Den intensiva forskningen kring fasta tillståndets fysik har möjliggjort att framställa ferromagnetiska kristaller där de magnetiska områdena kan påverkas och styras av yttre magnetfält, se bild 7. Ett sådant ämne är

7. Magnetismen i en ferromagnetisk kristall består av områden med olika magnetiska polaritet. Dessa krymper om man lägger på ett allt kraftigare magnetfält. Till sist bildas små magnetiska bubblor, som kan bli så små som några tusendels millimeter stora.

Dessa magnetiska bubblor kan representera datorspråkets ettor och nollor. Med hjälp av avancerad teknik kan bubblorna flyttas omkring i kristallen och matas in eller ut. Teckning: Nils Peterson.



syntetiska granater. Man kan på så sätt skapa magnetiska bubblor med en diameter, som är mindre än en tusendels millimeter.

De magnetiska bubblorna kan fungera om 1:orna i datorspråket medan mellanrummet mellan två bubblor utgör 0:orna. Tekniken har snabbt fått tillämpning inom minnesteknologin. Bubbelminnet är en magnetisk version av det elektroniska CCD-minnet.

Bubbelminnets upptäckare är Andrew Bobeck vid Bell, som tog ut det första patentet 1969. Sedan har utvecklingen gått fort och många halvledarföretag har bidragit.

Ett viktigt steg togs 1973 när IBM i USA lyckades framställa icke-kristalliskt – amorft – material lämpligt för magnetisk bubbeltillverkning. Det är billigt och kan lätt formas i tunna skikt.

De första kommersiella bubbelminnena började dyka upp på marknaden 1978 sålda av Texas Instruments, Rockwell och Motorola. De hade en minneskapacitet på 100 000 informationsbitar på en knappt centimeterstor chips.

Idag håller bubbelminnet en miljon informationsbitar. IBM arbetar redan med den andra generationens bubbelminnen, som förväntas få en kapacitet av cirka 10 miljoner bitar om några få år. Den yttersta gränsen anses ligga vid omkring 100 miljoner.

Det intressanta med tekniken är att bubblorna lätt kan styras och förändra läge med hjälp av magnetism. En del av utvecklingsarbetet har just gått ut på att hitta metoder, som känsligt kan styra och läsa informationen. Bubbelminnena är i sig små tekniska underverk.

I och med sin konstruktion finns logiska möjligheter i bubbelminnet som saknas i annan minnesteknologi. Vi har ännu inte kommit särskilt långt i utvecklandet av teknikens mjukvara, dvs program att styra informationen.

Josephson-teknologin

Vissa metaller blir elektriskt supraledande när temperaturen närmar sig den absoluta nollpunkten –273° C. Detta upptäcktes redan 1911. Men det var först 1957 som fenomenet kunde förklaras.

För detta fick John Bardeen, Leon N Cooper och J Robert Schrieffer Nobelpriset i fysik 1972. För Bardeen var det andra gången! Det första Nobelpriset fick han 1956 för upptäckten av transistorn.

Fenomenet fungerar på så sätt att det elektriska ledningsmotståndet upphör vid verkligt låga temperaturer. Elektriska strömmar och pulser kan således helt utan hinder färdas i metallen.

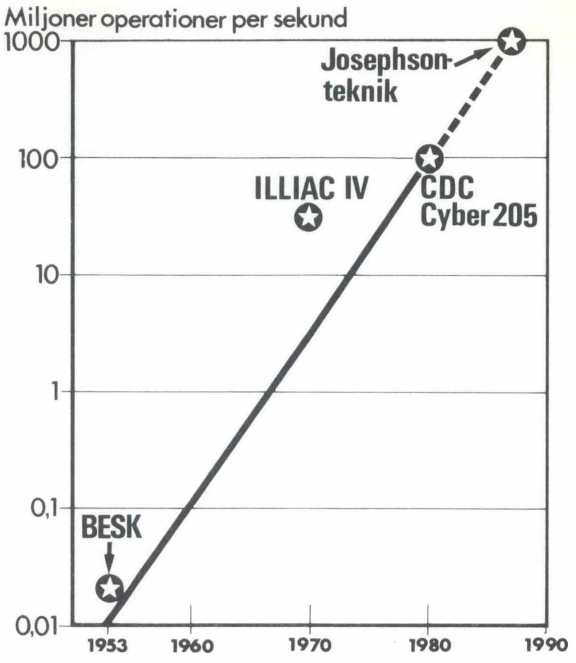
Engelsmannen Brian Josephson upptäckte 1962 andra egenskaper hos elektronerna vid låga temperaturer som lade grunden för en ny elektronisk teknik. Den erbjuder helt nya möjligheter för bland annat datortekniken. Brian Josephson fick tillsammans med Giaever och Esaki Nobelpriset i fysik 1973 för sin forskning.

Josephson-tekniken erbjuder främst två fördelar. En sådan elektronisk krets ökar sitt arbetstempo. De riktigt snabba datorerna klarar idag 10–100 miljoner räkneoperationer per sekund. Josephson-tekniken kan klara hundrafalt fler.

Värmeutvecklingen minskar radikalt. Trots att en halvledarkrets är energisnål avger den något tiotals milliwatt (10^{-3}W). Eftersom en dator

8. Datorerna räknar allt snabbare. Den svenska BESK var under kort tid i början på 1950-talet världens snabbaste dator. 1981 finns datorer, som räknar tiotusen gånger snabbare än BESK.

En miljard operationer per sekund hoppas man nå med hjälp av den nya Josephsontekniken innan 1990.



arbetar med hundratusentals kretsar så blir den sammanlagda värmeutvecklingen flera tusen watt. En Josephson-krets avger bara någon mikrowatt (10^{-6}W), så att den totala värmeutvecklingen blir under en watt.

Nackdelen är att man måste kyla ned Josephson-kretsarna med till exempel flytande helium. Men tekniken erbjuder nya möjligheter att bygga enormt kompakta datorer med höga prestanda. En stordator som inte är större än en tennisboll ligger inom möjligheternas gräns.

Under 1970-talet har främst IBM, delvis med militära medel, lett utvecklingen på det här området. IBM har också en rad viktiga patent på tekniken och man räknar optimistiskt med ett genombrott under 1980-talet.

Halvledarindustrin växer fram

Industrin för tillverkning av halvledare började formas under 1950-talet men det var under 1960- och 1970-talen som den verkligt stora expansionen skedde. Fram till 1957 ledde storföretag som RCA, Bell och General Electric i stort utvecklingen, sedan visade små, nystartade företag vägen.

Branschens korta historia kännetecknas av en enorm ekonomisk tillväxt, innovationskraft och kreativitet samt ständiga scenförändringar. Ofta har enskilda begåvade forskare och tekniker gjort helhjärtade satsningar som givit god utdelning. 1960 omsatte branschen 0,5 miljarder dollar, 1981 nästan nio miljarder. År 2000 beräknas siffran ha stigit till 100 miljarder.

William Shockley, en av transistorns upptäckare, lämnade till exempel Bell 1957 för att starta Shockley Transistor. Han samlade en grupp begåvade forskare och tekniker omkring sig men redan efter något år kom

samarbetssvårigheter. En grupp övergav företaget och startade istället Fairchild Semiconductors.

I samma anda har utvecklingen av halvledarindustrin gått vidare. Nya företag har startats, vuxit sig snabbt ekonomiskt starka genom sin innovationsförmåga. I många fall hade de sina rötter i Fairchild Semiconductor eller Bell. Det var därifrån den ledande personalen ofta kom. Dessa företag kallas "Fairchildren" och räknas idag i hundratal. Vinnarna i kapplöpningen har snabbt tjänat storkovan och förlorarna har lämnat arenan.

Halvledarindustrin fick redan i början sitt centrum i Santa Claradalen strax söder om San Fransisco. Dalen har fått tillnamnet Silicon Valley – kiseldalen.

Utvecklingen har sina rötter i det berömda Stanforduniversitetet i Palo Alto från vilket många av forskarna kom. Universitetet gav god starthjälp genom sin unika policy att på fördelaktiga villkor ställa mark till förfogande till företag med anknytning till universitetet, som satsar på ny teknik.

Under 1970-talet har halvledarindustrin spritts över världen. Många länder har gjort satsningar med stöd från staten. Det gäller många av de stora europeiska industrinationerna. Men det stora språnget har Japan tagit. De har tagit upp kampen med USA som ledande nation och hotar nu den amerikanska dominansen.

Hela halvledarindustrin kännetecknas av en våldsam dynamik och förnyelse. Produkter som utvecklats under 1,5 år har en livstid på mindre än ett år. Det vill till en enorm innovationsförmåga för att kunna hänga med!

Sverige

Halvledartekniken har också fotfäste i Sverige. Grundforskning av betydelse för halvledartekniken har gamla anor i Sverige och det fasta tillståndets fysik är ett viktigt forskningsområde.

Industriell tillverkning av halvledare är också under utveckling i landet. ASEA-Hafo har i många år arbetat med sådan tillverkning och LM Ericssonföretaget Rifa, en gammal tillverkare av elektroniska komponenter, stiger i början av 1980-talet fram som en halvledarfabrikant av internationell betydelse.

Rifa har under sju år gjort omfattande investeringar i hundramiljonklassen och byggt upp sin tekniska kompetens.

Detta är bland annat en följd av LM Ericssonkoncernens ökande engagemang i den moderna telekommunikationsbranschen där tillverkningen av det nya telefonväxelsystemet AXE är en viktig del.

Orsak och verkningar

En teknisk utveckling kommer inte igång av sig själv även om de tekniska lösningarna finns färdiga. Det krävs pengar, behov och en väntande marknad. Vi börjar nu skönja orsak och verkningar i den elektroniska revolutionen. Grunderna för elektronik och halvledarteknik lades steg för steg i den fysiska och kemiska grundforskningen från 1800-talets mitt.

Det var den amerikanska militären och rymdforskningen, som satte fart på den elektroniska revolutionen efter andra världskriget. Det var främst militära behov och pengar, som gav halvledarindustrin dess stora växtkraft. Militärerna behövde kompakt byggd logisk kraft i sina nya och allt

mer avancerade vapensystem.

Rymdforskningen behövde samma slags teknologi i satellitsystem och för rymdfärderna bort från jorden.

Från 90 till 7 procent

Militärerna dominerade marknaden i början av 1960-talet. De köpte 90 procent av all mikroelektronik. Idag är deras andel mindre än sju procent.

Det är istället den civila marknaden som nu dominerar. Datorindustrin är en jättekund, informations- och kommunikationsteknologin är en annan och under 1970-talet har mikroelektroniken trängt in i hemmets och fritidens kapitalvaror.

Militärerna har sett utvecklingen med oro. Från att ha fött och gött halvledarindustrin har de trängts undan av civila behov och pengar.

Snabbköp eller beställnings-skrädderi?

Halvledarindustrin styr naturligtvis sin verksamhet mot lönsamma marknader. Tekniken har gjort produkterna allt mer avancerade men samtidigt erbjuds kunderna ett magrare utbud att välja bland. De företag, som använder mikrokretsar har allt mer fått anpassa sina produkter efter vad halvledarindustrin har haft att erbjuda.

Situationen idag kan liknas vid vad som möter oss i Hennes & Mauritz-butikerna. Massproducerade och standardiserade kläder i långa banor. De som är alltför långa eller tjocka, för att inte tala om de som inte accepterar dagens mode, har inget att hämta. De måste vända sig till ett dyrbart beställningsskrädderi.

Den amerikanska militären har nu valt att stödja och stimulera ett mikroelektronikens beställningsskrädderi för chips som tillfredsställer just deras behov och anspråk.

Liknande tendenser börjar nu i början av 1980-talet uppträda också i den civila sektorn. Ett nytt slags företag håller nu på att växa fram vid sidan av de masstillverkande halvledarföretagen för att fånga upp dessa nya behov av specialtillverkad mikroelektronik i små serier. Denna kundanpassade tillverkning har snabbt fått namnet ''kiselbruk''.

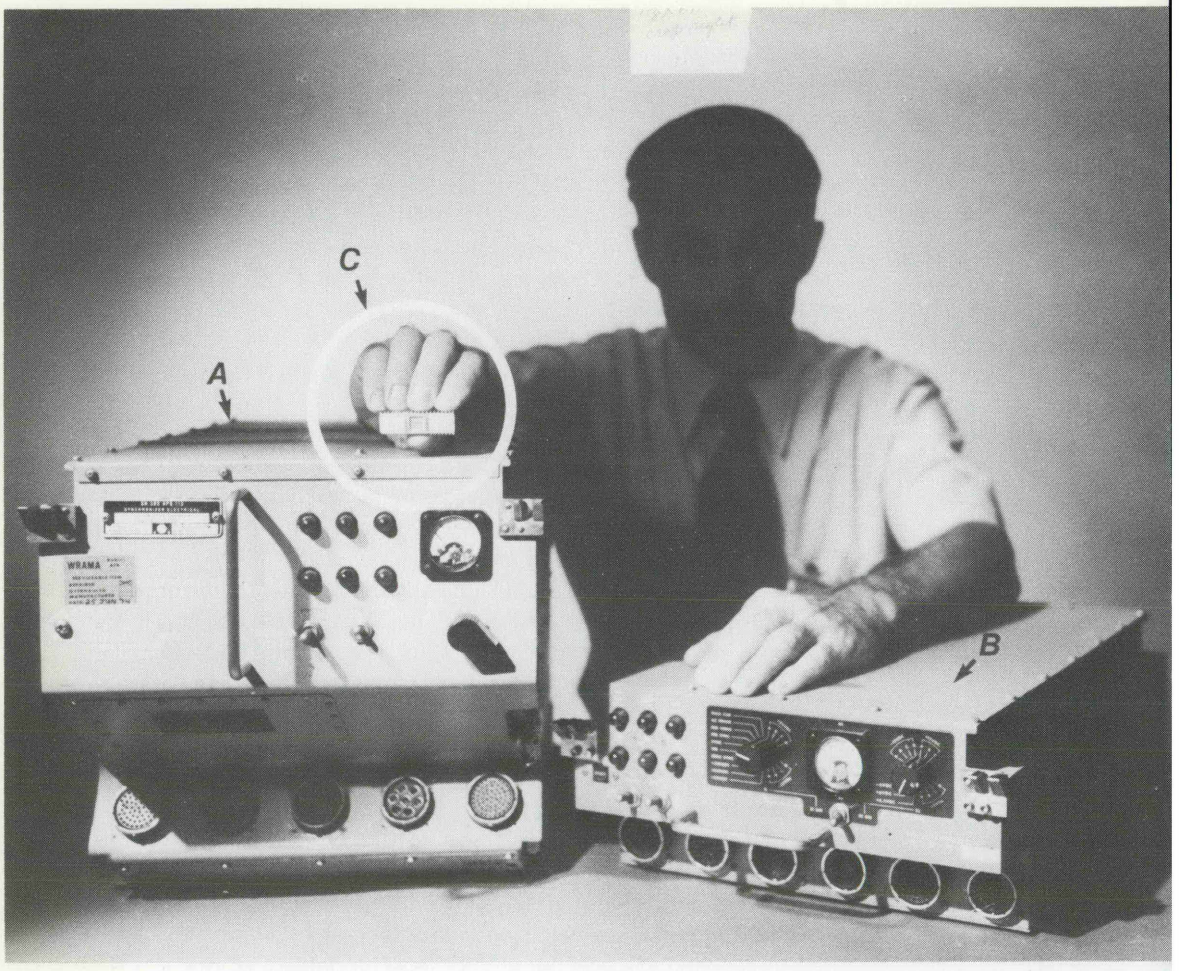
Pentagon satsar 1 miljard kronor

Den amerikanska militären vill inte längre finna sig i att trängas med de civila kunderna i de massproducerande halvledartillverkarnas snabbköp. Försvaret behöver sina egna superkretsar för att göra sina smarta vapen ännu smartare.

1978 beslutade därför det amerikanska försvarsdepartementet att satsa drygt 1 miljard kronor för att stödja och stimulera halvledarindustrin i USA att utveckla mikroelektronik för militära behov.

Militären vill ha chips, som är tätare packade med elektroniska kretsar, kan arbeta snabbare och som kan utföra mer komplicerade logiska operationer än vad dagens mest avancerade kretsar kan klara. De behöver inte heller massproduceras.

Denna mycket specialiserade elektronik skall främst ingå i framtidens vapensystem. Raketer och projektiler skall t ex själva kunna leta sig fram mot målen med enorm precision. Därför måste den nya mikroelektroniken kunna hantera och bearbeta stora mängder information i samma ögonblick den är tillgänglig – realtid. Det handlar om oerhört avancerad signalbehandling.



9. Halvledarutvecklingen har gått otroligt fort. Den här bilden illustrerar vad det senaste militära amerikanska utvecklingsprojektet för att få fram snabbare och tätare packad elektronik har för målsättning.

Den vänstra lådan på bilden (A) är radarelektronik från 1960-talet. Det är en signalanalysator, som sitter ombord på det amerikanska bombplanet General Dynamics FB-111. Den ingår i dagens NATO-styrkor. Elektroniken är uppbyggd av enskilda transistorer.

Samma typ av elektronik (B) konstruerad för bombplanet Rockwell B-1 har utvecklats under 1960- och 1970-talen. Den är ännu inte satt i produktion. Den är byggd på integrerad kretsteknik från början av 1970-talet.

I mitten av 1980-talet hoppas man att de båda lådorna A och B skall ersättas av en enda kiselbricka (C), som mannen håller i handen. Foto: Aviation Week and Space Technology.

VHSIC

Dessa nya kretsar går under arbetsnamnet Very High Speed Integrated Circuit, VHSIC. Målsättningen är att projektet skall leda fram till mikroelektronik där tusen miljarder grindar – det elektroniska grundelementet i datorn – packas samman på en kvadratcentimeter och som kan utföra hundratals miljoner operationer per sekund. Det är klasser bättre än vad dagens mest avancerade kretsar kan prestera.

För att kunna fatta graden av miniatyrisering som söks kan vi göra följande tankeexperiment:

Vi ritar en karta över hela USA på ett 50 centimeter stort papper med samma detaljrikedom som de nya mikrokretsarna. Då kommer varenda gata i hela USA att vara inritad!

Nio av de största amerikanska halvledarföretagen deltar i den förberedande projektstudien. Den skall vara klar under 1981.

Sedan skall tre till fem företag väljas ut för att fullfölja projektet.

Den amerikanska armen, flottan och flyget har valt ut 19 olika användningsområden. Målsättningen för projektet är att:

- Öka tätheten av komponenter på en chips och öka dess arbetstempo med tio till tusen gånger jämfört med vad dagens kretsar klarar.
- Förbättra den geometriska upplösningen på mikrokretsens detaljer med cirka tio gånger, dvs göra etsning på submikronnivå. Bättre detaljupplösning än en tusendels millimeter.

Projektet skall vara klart till 1986–87. De företag, som valts ut för en fortsättning skall då ha utvecklat mikroelektronik för minst ett vapensystem från vardera vapenslagen.

Alla delar av mikroelektroniken skall bearbetas och lösas – principlösning av de logiska funktionerna, kretsarnas lay-out och arkitektur, produktionsteknik, kvalitetskontroll och provproduktion.

De deltagande företagen har redan uttryckt stor entusiasm över projektet. De har stimulerats i sitt utvecklingsarbete. Men militären har gått in och stimulerat en redan överhettad bransch. Vilka konsekvenser detta får utanför den militära sektorn är idag svåra att förutse.

Universiteten tar nya tag

Nu ökar också universiteten i USA sin aktivitet inom sin forskning om halvledare, mikroelektronik och dess tillämpningar.

Detta sker delvis med ekonomiskt stöd och påhejning av militären men också under trycket av en allt mer hårdnande konkurrens från utlandet och då framför allt Japan.

Bland annat arbetar man med nästa generation av datorer. Minnen, beräkningsenheter och program tänks packas samman i oerhörd täthet i färdigproducerad mikroelektronik.

Detta öppnar nya vägar och radikalt nytänkande av såväl datorernas arkitektur och uppbyggnad som utformning av datorspråket.

Dagens datorer arbetar i princip på samma sätt som gårdagens, dvs i enkla seriesekvenser. Data plockas in från minnet, bearbetas i centralenheten och sedan ut till minnet igen i en ständig ström.

Nu funderar man på möjligheterna att låta datorn arbeta med sina olika funktioner samtidigt i olika parallella plan. Detta nytänkande gäller både

datateknikens hård- och mjukvara, dvs apparater och program.

Samtidigt satsar universiteten allt mer på avancerade kurser i mikroelektronik. Det handlar inte bara om teori utan lika mycket om praktiska övningar. Studenterna skall få lära sig att själva konstruera och tillverka avancerade elektroniska kretsar i laboratoriemiljö.

Intels i APX 432

Detta behövs. Utvecklingen visar inga tecken att bromsas upp, trots att många hävdar att marknadsekonomin inte tål en fortsatt utveckling av det slag vi haft de senaste 20 åren. Många hävdar också att utvecklingen av tekniken – hårdvaran – måste hejdas, så att vi hinner med att följa upp med mjukvaran – programmen och datorspråk.

När dessa rader skrivs i slutet av februari 1981 så meddelar en av de ledande halvledartillverkarna Intel att man i mars börjar sälja en stordator iAPX 432 i miniformat.

Hela systemet ryms på tre små chips. Till och med en stor del av den grundläggande programvaran är "inbakad" i kisel för att citera Intels egna konstruktörer.

Detta är en teknisk och ekonomisk sensation. Intel, som skapade den första mikroprocessorn 10 år tidigare, har åter drivit på utvecklingen. Den nya datorn har stordatorkapacitet men skall kosta i USA bara omkring 7 000 kronor. Intel räknar med att kunna pressa priset till några tusen om några år.

Det är intressant att ett halvledarföretag nu stiger in i datorbranschen med en färdig produkt. De stora datorjättarna, IBM och de andra, har anledning att känna sig hotade.

Ständig förändring

Den moderna elektroniken är en teknologi i våldsam utveckling. Den skapar ständiga förändringar och scenbyten. Konsekvenserna är djupgående inom näringsliv, ekonomi, politik och samhälle.

Att hantera en sådan dynamisk kraft kräver en ny insikt, förutseende och analytisk förmåga hos de som beslutar.

Våra erfarenheter är också begränsade. Den industriella revolutionen med sina mängder av små och stora kraftkällor, som tagit över mer och mer av vårt muskelarbete, har behövt över 200 år på sig att nå dagens situation. Den utvecklingen utgör grunden för vårt välstånd men har varit fylld av omvälvningar och oro.

Den elektroniska revolutionen, som är ett hjälpmedel för vårt tankearbete, är lika om inte mer omvälvande och den har pågått i knappa 40 år!

Vi har först nu börjat förstå dess inneboende kraft och omvälvande inverkan på samhället.

Litteratur

Ernest Braun och Stuart MacDonald, *Revolution in Miniature.* The History and Impact of Semiconductor Electronic, Cambridge University Press, Cambridge 1978.

GWA Dummer, *Electronic Inventions 1745–1976*, Pergamon Press 1977.

Dædalus 1978/79, Temablock om datorer.

Scientific American, September, 1977, temanummer om mikroelektronik.

Innovation, Competition and Governmental Policy in the Semiconductor Industry: Charles River Ass Incorp, Boston, Mass, Mars 1980.

Carl F J Overhage (redaktör), *The Age of Electronic,* 1962.

P A Tove, *Transistorns tillkomst – ett 25-årsminne,* Kosmos, 1972.

Bengt A Vedin, *Datorer med mänskligt ansikte?* Studieförbundet Näringsliv och Samhälle, 1981.