HÅKON WITH ANDERSEN

# Molekylærteknikk og mikrokretser

## Oppbyggingen av en norsk halvlederforskning i begynnelsen av 1960-årene

1960-årene ble det store gjennombruddstiåret for anvendelse og utnyttelse av halvlederelementer i elektronikk og datateknologi.[1] Med oppfinnelsen av transistoren fra slutten av 1940-årene og med oppdagelsen av en effektiv produksjonsmetode (planarteknikken) fra 1959–1960 økte interessen for disse faststoffkomponentene dramatisk. Ikke til å undre seg over egentlig: de nærmet seg elektroingeniørens drøm, særlig når de ble sammenliknet med tidligere aktive komponenter som radiorøret og magnetiske forsterkere. Transistorene var små, uten krav til høy spenning, lite energikrevende, relativt stabile og fram for alt: de ulike egenskapene bedret seg fra år til år.

Halvlederkomponentene kom til å bli noe langt mer enn bare en erstatning for andre komponenter. Nye muligheter ble åpnet for nye kretsteknikker. Først kom teknikken med trykte kretskort til sin rett, dernest begynte den lange utviklingen av ulike typer integrerte kretser. Halvlederelementenes bryter-egenskaper sammen med den nye integrerte kretsteknikken åpnet for et dramatisk skift også i konstruksjonsprinsipp: En langsom omlegging fra lineære til digitale kretser i elektronisk utstyr begynte å vinne fart.

I USA ble halvlederutviklingen i 1950-årene i stor grad finansiert av forsvaret gjennom ulike utviklingskontrakter. Som T J Misa har påvist ga dette halvlederutviklingen både en bestemt retning m h t hvilke egenskaper som ble utviklet, og en særegen form for dynamikk (utviklingen foregikk i de store selskapene, pris og kostnader var relativt underordnet ulike fysiske egenskaper der særlig frekvensområdet og pålitligheten var sentrale).[2] Disse egenskapene, inkludert organiseringsmønsteret for forskningen, var preget av de militære oppdragsgiverne i den forstand at militæretatens verdier og holdning-

er kom til å prege de fleste sider ved halvlederutviklingen i 1950-årene.[3]

I dette notatet vil det bli lagt vekt på å utvide dette perspektivet noe, både kvalitativt og kvantitativt. Jeg vil forsøke å vise hvorledes ulike institusjoner kom til å prege det norske forsknings- og utviklingsarbeidet på ulikt vis. Jeg vil kalle dette for *institusjonelle føringer*. I tillegg vil jeg bruke begrepet *teknologiske føringer* om de mer teknologi-interne utviklingssporene som de ulike gruppene arbeidet langs.[4]

Teknologien ble med andre ord formet i en sosial prosess, samtidig som den selv satte skranker for hvilken innflytelse denne prosessen kunne ha.[5] Det er denne formingsprosessen som er temaet for denne artikkelen, formingen av en norsk halvlederteknologi i begynnelsen av 1960-årene. Overfladisk sett kunne en ledes til å tro at dette var et trivielt felt siden det for Norges del bare var snakk om diffusjon av en tidligere etablert teknologi, bestemt ut fra de spor som ble lagt i USA. Som vi skal se var dette langt fra tilfelle. Tvert i mot viser det norske materialet et vel av valgmuligheter og situasjoner der ulike institusjoner valgte ulikt med helt ulike resultater.

Halvledere er en gruppe stoff som har en særlig elektrisk egenskap: I absolutt ren tilstand er de isolatorer, men ved tilsetting av svært små mengder forurensninger av gunstige stoffer blir de ledende. Halvledere til elektroniske formål vil ofte opptre i krystallinsk form. I svært mange tilfeller vil en være interessert i å undersøke såkalte enkrystaller av stoffet. Forskning på halvledere vil etter dette i første rekke dreie seg om ulike typer materialegenskaper og hvorledes disse endres og reagerer på ytre impulser (lyd, lys, elektriske felt etc). I denne snevre betydningen av halvlederforskning vil det derfor ofte dreie seg om material- eller strukturfysikk, metallurgi og fysikalsk kjemi.

Nå er det vanlig å trekke begrepet noe lenger, til alt som har med utnyttelsen av halvledermaterialer til elektroniske formål å gjøre. Det er i denne betydningen vi her skal nytte ordet. Da får vi i tillegg en rad mer eller mindre praktiske problemer (av forskerne selv ofte kalt "teknologiske" problemer, i motsetning til teoretisk-vitenskapelige) samt en lang rad andre problemer hentet fra andre teknologier som f eks ulike litografiske teknikker, fotoetsing, sputring osv. Det er dette konglomeratet av teknologi- og forskningselementer som jeg vil samle under begrepet *halvlederforskning*.

## Startfasen, 1957–1960

I Norge fantes det to relativt uavhengige grupper som startet opp noe som i større eller mindre grad kan kalles halvlederforskning i annen halvdel av 1950-årene. En av disse hadde sin tilknytning til Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI). Drivkraften bak dette var forskerne Jan Barstad og Olav Holwech ved FFIs avdeling for kjemi ved Kjeller (nær Oslo). Holwech la opp til en totrinns strategi for å få overbevist FFI om relevansen av halvlederforskningen.[6] I første omgang ville han starte med å framstille superrent silisium for deretter

å forsøke å få aksept på transistorframstilling. Begrunnelsen for silisiumprosjektet var at det ville gi bedre muligheter for å vurdere "beretigelsen" av å framstille transistorer.[7] I tillegg hadde det og mange gode sivile sider som muligheten for produksjon av superrent silisium ved et ferrosilisiumverk og for produksjon av kraftlikerettere.[8]

Aksept på prosjektet ble gitt 28/11 1957, uten at det ble lovet noen fortsettelse ut over silisiumframstillingen. Organisasjonen (FFI) var tydelig skeptisk til denne typen arbeid. Utover i 1958 argumenterte de to forskerne med viktigheten av at forsvaret selv var i stand til å frambringe de spesialkomponentene som de måtte trenge. Særlige egenskaper som ble framhevet var lavt volum og lav vekt, lavt energiforbruk og stor pålitelighet.[9] Gruppen forsøkte også å knytte forbindelse med andre og mer prioriterte felt for å styrke søknaden, som f eks utviklingen av et fotocellearray.[10] En annen og mer vellykket kontakt gikk til FFIs avdeling i Bergen, avdeling for radar.

Bergensgruppen hadde i 1950-årene først og fremst arbeidet med mikrobølgeteknikk og anvendelser av den til ulike formål, bl a radiolinjesamband. I mikrobølgeteknikken var forsterkning et komplisert felt. I slutten av femtiårene så det ikke ut til å være mulig å nytte halvledere til dette. Men Bergensgruppen hadde visse ideer om å nytte raske dioder til både det de kalte en "kraftmikser" (frekvens"omformer") og, noe senere, til en reaktansforsterker. Resultatet ble et samarbeid med forsker A Tonning og Tor Schaug-Pettersen i Bergen og tre halvlederforskere fra FFI på Kjeller med målsetning å framstille superraske silisiumdioder for parametrisk mikrobølgebruk.[11] Som vi ser trakk militærforskningen i retning av det eksotiske, i form av et radikalt utvidet frekvensområde, og uten at prisen på diodene ble tillagt særlig vekt.

I begynnelsen av 1960-årene ble Bergensavdelingen av FFI flyttet til Kjeller, til den nye avdelingen for elektronikk. Halvlederforskningen fortsatte i mindre omfang og konsentrerte seg først og fremst om infrarøde sensorer til Penguinrakettene (dette var halvlederkomponenter som var vanskelig tilgjengelig kommersielt). Disse ble dels produsert på FFI, og i en periode av en kommersiell produsent i Norge på FFIs oppdrag.[12] Denne tidlige halvlederforskningen skulle imidlertid få stor betydning av en annen grunn, nemlig ved de menneskene som ble lært opp og som fikk interesse for emnet. A Tonning og flere fra radargruppen fikk professorater i elektronikk ved den tekniske høgskolen i Trondheim (NTH), mens både Barstad (i 1961) og Holwech (i 1965) gikk til Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) i Oslo.

SI utgjorde det eneste sivile miljøet som alt i 1950-årene syslet litt med halvledere. SI hadde fra starten bygget opp en sterk "strukturfysikk"-del slik at mye av utstyret for å starte halvlederforskning var tilstede.[13] Det forunderlige var heller at ikke SI startet med halvledere tidligere. Ulikt FFI sto SI i en helt annen institusjonell kontekst. SI skulle drive industriforskning og utvikle norsk industri. Det kunne være vanskelig nok dersom en skulle arbeide med avansert strukturfysikk for en tilbakeliggende og beskjeden norsk industri. Med moleky-

larteknikken så det ut til å være mulig å kombinere ønskene om å drive vitenskapelig strukturfysikk og samtidig nyttig utviklingsarbeid for norsk industri. Målsettingen var klar:

"Spesielt vil man ta sikte på å utvikle standardiserte elementærkretser som i neste omgang kan bli produsert i landet." (SI's arbeidsprogram for 1961 datert 15/3 1960). På SI var det standardelementer en gikk etter, det endelige målet var norsk produksjon.

## SIs oppbyggingsfase, 1961–1963

I den første søknaden (sommeren 1960) virket det som om en hadde svært uklare forestillinger om hva molekylare komponenter var. Det skulle utvikles motstander og kondensatorer i første omgang. Disse skulle "søkes tilpasset slike logiske (monolittiske) enhetskretser som etterhvert vil bli utviklet".[14] Etterhvert tenkte en seg å ta opp framstillingen av "dioder og eventuelt trioder".[15] Det viktigste punktet i søknaden var at SI fra høsten 1960 regnet med å ha to kompetente forskere på feltet: tidligere omtalte J Barstad (fra FFI) og H Sandmo. Poenget med digitale kretser lå i koblingen til et annet stort SI-prosjekt: numerisk styring og konstruksjon (sifferteknikk).[16]

Barstad gikk inn for å arbeide direkte med halvledere. I tillegg til behandlingsproblemer (sliping, polering, kontakter o l) startet han arbeidet med å lage silisiummotstander med stor piezo-motstandseffekt. Det viste seg at det lett kunne lages transducere med 50 ganger høyere følsomhet enn konvensjonelle strekklapper. Fordelen ved dette delprosjektet var at Barstad raskt fikk overbevist institusjonen internt om at halvledere var noe å satse på.[17] Godt hjulpet av medgangen søkte gruppen om et større driftstilskudd for 1962: 240 000 kroner, en firedobling fra året før. Også bevilgningen blev firedoblet: fra 50 000 kroner i 1961 til 200 000 kr i 1962. Arbeidsområdet var imidlertid like uklart: "Arbeidsprogrammet for 1962 vil ta sikte på å sette oss i stand til å beherske de viktigste metoder for framstilling av mer kompliserte komponenter."[18] I søknaden kom det fram at forskerne var i ferd med å bygge opp et eget laboratorium. Oppbyggingsperioden mente de ville vare ut 1962 og at det var da på tide å ta mer aktivt kontakt med industrien. SIs rolle kunne etter det bli todelt: dels ved at SI produserte spesialkomponenter for oppdragsgivere, dels at SI fungerte som konsulent for bedrifter som ville starte masseproduksjon.

Høsten 1961 skjedde det imidlertid uventede ting som fikk store konsekvenser for SI. En norsk ingeniør med 10 års erfaring fra amerikansk forskning og undervisning skrev brev til både FFI og SI med forespørsel om arbeid. Hans særlige kompetanse bestod i at han hadde deltatt aktivt i oppbyggingen av Northern Electrics halvlederforskning i Canada (parallellselskapet til Western Electric i USA). I den forbindelse hadde han forskningsopphold ved Bell labs avdeling for halvlederforskning bak seg. Erfaringene fra Bell og Northern gikk på alle typer problemer ved framstilling av halvlederkomponenter:

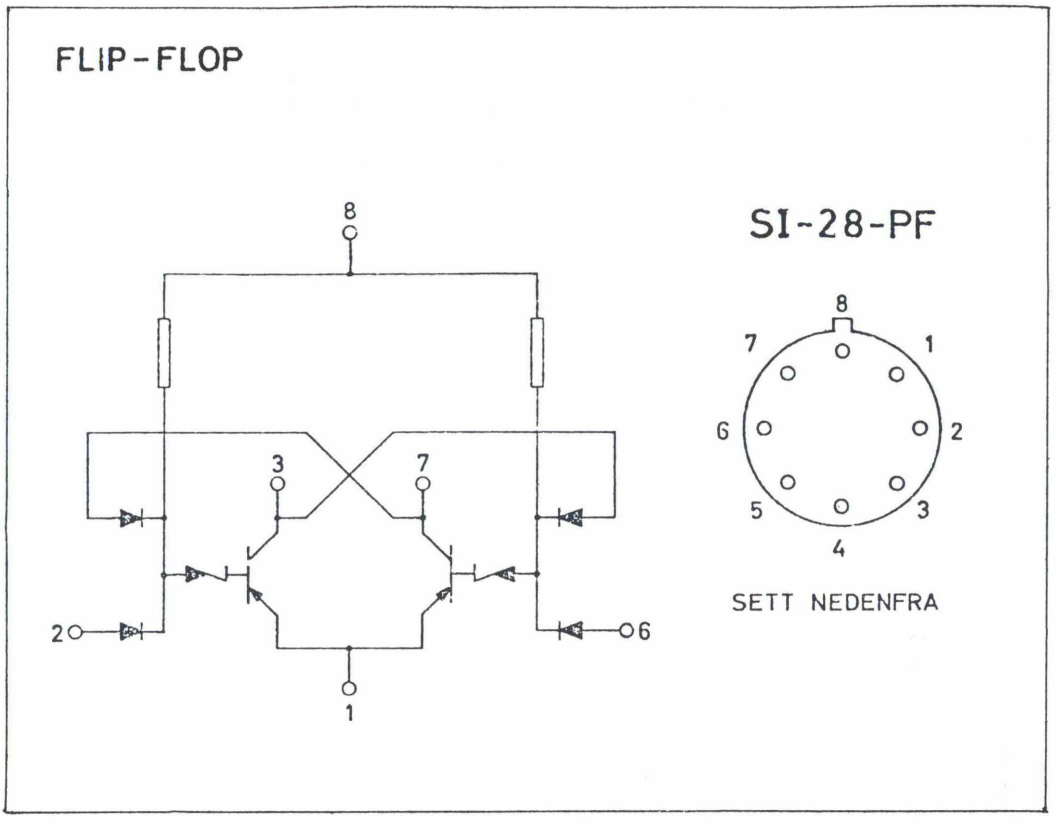
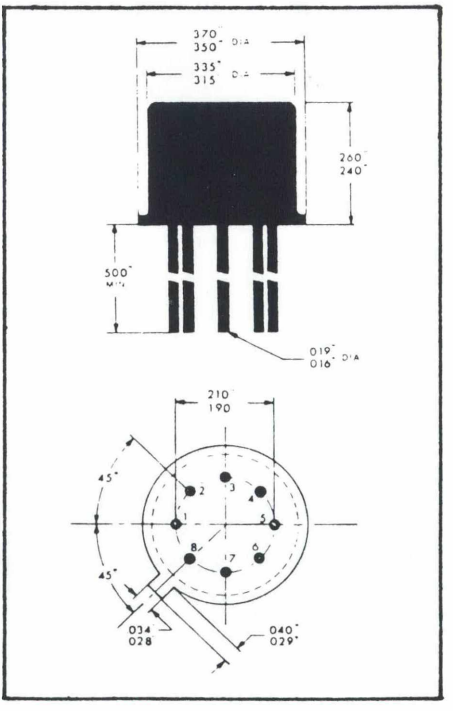



Diagram og hus for en av de aller første norskproduserte integrerte kretsene fra 1963. Bildet viser en type digitalkrets (flip-flop), framstilt på et silisiumkrystall ved hjelp av den nye planarteknologien. Problemet lå imidlertid i markedet, ingen norske bedrifter var interessert i denne typen kretser.



raffinering, groing, polering, kontakter, osv. 8/9 1961 vedtok styret å ansette siv ing Olav Stavik ved SI.[19]

Helt sentralt i Staviks erfaringsbakgrunn sto arbeidet med den nye planarteknikken. Mikrobølgediodene ved FFI ble laget i såkalt "mesa"-teknikk. Fordelen ved planarteknikken var at den bare krevde behandling av en side av halvlederkrystallet. Dette åpnet for både masseproduksjon og flere komponenter pr brikke (ved hjelp av ulike fotografiske maske-teknikker) – såkalte monolittiske kretser.

Med Stavik fikk forskningsprosjektet ytterligere tyngde og framdrift. I tillegg fikk det også en klar retning: planarteknikk og monolittiske kretser ble et klart og uomtvistet mål. Samtidig økte også støtten til prosjektet internt: " . . . saken var meget interessant og måtte søkes fremmet med stor styrke så snart som mulig." het det i referatet fra styremøtet i SI 14/6 1962.[20] Den store interessen hang nok også sammen med en mer alminnelig interesse for elektronikk og dens framtidsperspektiver. Hva var da mer naturlig enn å satse på byggesteinene i denne teknikken? Dessuten var prosjektet koplet til noe som alt var blitt en stor suksess: numerisk styring.

Våren 1962 ble det i SI-gruppen arbeidet med et større dokument om perspektivene for halvlederprosjektet. "Utvikling av nye produkter for elektronisk industri. Molekylarkomponenter – Integrerte kretser – elektronisk utstyr."[21] I dette dokumentet ble retningen trukket opp. Det primære målet var utviklingen av digitale, monolittiske kretser. Dette var det området som raskest kunne gi industriell produksjon samtidig med at kvaliteten skulle ligge på høyde med utviklingen i USA. En var klar over at en etterhvert ville få et prisfall på slike integrerte kretser, men med masseproduksjon (planarteknikken) skulle en kunne leve godt tross dette. Sekundært skulle en arbeide med passive komponentnettverk på glassplate og med piezomotstandseffekten (transduceren til Barstad).

## SI-planene i et internasjonalt lys

SI-gruppen var tidlig ute. Både planarteknikken og de monolittiske kretsene ble først oppfunnet og utviklet i 1959–1960 i USA. Kretsene var på dette tidspunktet svært dyre og ble stort sett bare anvendt i militært utstyr eller til romfartsformål. Å lage et kommersielt program for disse komponentene i 1962 i påvente av et prisfall virker både forutseende og klartenkt, selv om prosjektet var dristig. Valget av materiale – silisium, og teknikk – planar, var i hvert fall treffende, midt i det kommende nye teknologiske paradigme.

I sin store analyse av hvorfor den europeiske halvlederindustrien ikke nådde opp mot den amerikanske i 1960-årene hevder F Malerba at dette hadde sammenheng med både teknologivalg og struktur i den europeiske industrien.[22] Den var basert på vertikalt integrerte selskap som trengte halvledere i sin egen produksjon. Og denne produksjonen bestod for en stor del av lineære elektroniske apparater, ikke digitale som datamaskiner o l. Videre hadde de fleste av konsernene

startet med halvledere før 1960, stort sett med kommersielle anvendelser av apparatene for øyet. Da var prisen viktig, og frekvensegenskapene mindre sentrale. Dette ledet konsernene inn i den enkleste teknikken med diskrete komponenter i germanium. Da planarteknikken og silisium kom som en ny kombinasjon satt de etablerte europeiske storforetagende med store interesser knyttet til gal teknologi. Det gjorde de for så vidt også i USA, men der dukket det i årene rundt 1960 opp en rad nye småprodusenter av en ny type: bedrifter som levde av å produsere og selge komponenter uten å være involvert i apparatproduksjon. Og i USA var datamaskinmarkedet en viktig avtager for komponenter, noe som ledet produsentene i retning av digitale kretser.

Digitale kretser har den fordel framfor lineære at de er enklere å bygge (krever færre passive komponenter). De er også mer standardiserte slik at et relativt lite utvalg logiske (digitale) kretser kan dekke svært mange typer anvendelser. Lineære kretser måtte i en helt annen utstrekning skreddersyes til de ulike formål. Dette gjorde også at amerikansk industri i en annen grad enn den europeiske satset på monolittiske kretser; digitale kretser var langt bedre egnet enn lineære til en slik teknikk.

Perioden fra planarteknikken ble oppfunnet og noen år framover var en av de få åpningene for nye produsenter. Det skjedde i USA, stort sett på basis av komponenter enten til forsvaret, romfart eller datamaskinprodusenter. Grunnen til at denne åpningen for nykommere oppstod i første halvdel av sekstiårene henger sammen med den teknologiske utviklingen. Bruddet som planarteknikken og silisiumet sammen med digitale komponenter medførte, gjorde at tidligere erfaringer med halvlederproduksjon egentlig ikke var noe stort fortrinn. Men så snart denne nye teknologiske føringen var etablert så fulgte utviklingen sporet med stadige perfeksjoneringer av framstillingsmetoder, raffinering, miniatyrisering osv. Teknologien ble gjenstand for dynamiske stordriftsfordeler, læringen og erfaringen ble etterhvert et hinder for at nye produsenter kunne nå opp i konkurransen. Åpningen for nykommere ble tettet mot annen halvdel av 1960-årene.

SIs plan fra 1962 harmonerte med det de suksessrike amerikanske produsentene gjorde. SI valgte riktig teknologi, tidspunktet var riktig og de var tidlig ute, de hadde kompetanse på feltet. I så måte liknet SI mer på de nye amerikanske produsentene enn på utviklingsavdelingene i de europeiske apparatkonsernene. SI rettet seg mot det kommersielle markedet og ikke mot dyre komponenter med eksotiske egenskaper for det militære markedet. Dette gjennomsyret også forsknings- og utviklingsprosessen.

## Fra vitenskap til teknikk?

SI sto imidlertid overfor andre utfordringer: Ville de klare å følge opp programmet raskt nok? Dette ville i stor grad være avhengig av kompetanse og penger. Dernest sto SI overfor to kommersielle pro-

blemer: Hvem skulle ta opp produksjonen av disse komponentene og hvem skulle kjøpe dem? Dokumentet fra 1962 var et forsøk på å løse det første av disse problemene: raskt å få penger til videre arbeid. De kommersielle problemene kunne det derimot ikke løse.

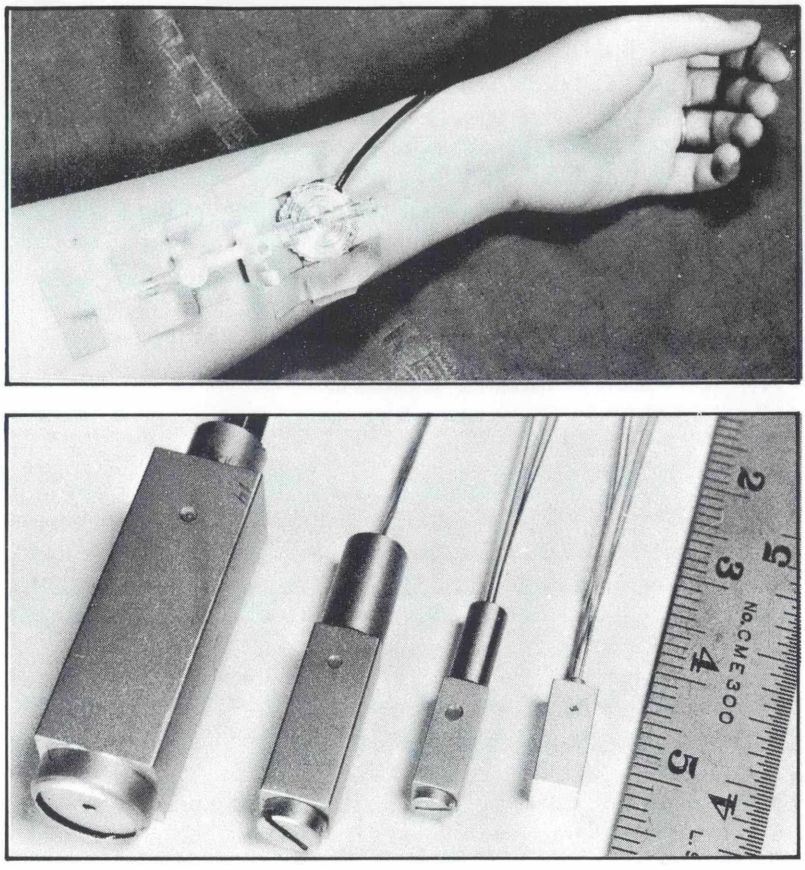
SI var så sterkt engasjert i ønske om å nå ut med komponentproduksjonen at de tok initiativet til å bygge en komplett prøvelinje i SIs egne lokaler. I denne produksjonslinjen var det meningen å drive masseproduksjon av komponenter, også for salg. Prøvelinjen var mellomstadiet mellom laboratorieproduksjon og full skala fabrikkdrift.[23]

Det ble argumentert med at prøvelinjen ville være av samme slag som det som skulle anvendes i en større produksjon og personalet måtte ha tilsvarende kvalifikasjoner. Prøveproduksjon og markedslansering kunne komme raskt i gang ved hjelp av prøvelinjen mens en planla det permanente produksjonsanlegget.[24]. Tempo og kommersiell utnyttelse kan være stikkord for denne planen. Derved var de luftige og teoretiske planene fra 1960 blitt konkretisert og knyttet til høyst jordnære mål. Parallelt aner vi en utvikling fra det abstrakt, vitenskapelige som forskningsfelt til det konkrete, produksjons- og markedsmessige med vekt på prøve og feilemetoder samt erfaringsbaserte kvalifikasjoner. Spranget fra "høy"teknologi til gammeldagse empiriske forsøk var ikke lang i denne planen.

Det var imidlertid ikke bare prøvelinjen som styrket antagelsen om en slik utvikling. Det ble antydet få forsøk og studier av halvledermaterialers egenskaper og undersøkelser av ulike effekter som kanskje kunne utnyttes. Problemene var først og fremst av praktisk art: hvordan feste gulltrådene, hvordan lage gode masker, hvilken temperatursyklus er den beste for de ulike prosessene osv. Med andre ord tekniske og framstillingsmessige problemer. Fantasien var fanget innen de teknologiske og institusjonelle føringene, tidligere valg bandt.

SIs institusjonelle føringer virket, ved siden av Staviks erfaringsbakgrunn, sterkt til denne orienteringen av F&U-arbeidet. Det er verd å merke seg at ennå hadde ingen bedrifter uttrykt noe ønske om norsk halvlederproduksjon. Utviklingen ble derfor båret fram ene og alene på SIs initiativ. Men SI var forpliktet til å tjene industrien. Hele institutsjonens eksistensberettigelse hvilte på det. NTNF finansierte rett nok omkring halvdelen av virksomheten (med en sterkt fallende tendens i 1960-årene) med generelle midler, men disse pengene var igjen knyttet til formålet: å tjene industrien som et oppdragsforskningsinstitutt. Den kommersielle retningen, prøveproduksjonen, og de tekniske i stedet for vitenskapelige problemene var alt sammen uttrykk for en villighet til å forfølge den overordnede målsettingen. Om nødvendig på bekostning av en mer vitenskapelig nysgjerrighet.

Her skiller SIs organisasjonsmessige føringer seg sterkt fra FFIs. De militære behovene var for komponenter med "sære" egenskaper der framstillingspris og kvantum spilte en heller underordnet rolle. Samtidig var det også lettere å drive mer vitenskapelig preget forskning ved FFI siden forskningen ikke kostet mer enn det nye utstyret




En blodtrykksmåler utviklet ved AME. Måleren vant flere priser i begynnelsen av 1970-årene.

som trengtes (stillingene var bevilget over statsbudsjettet). Dette forutsatte at en på en eller annen måte kunne argumentere for at forsvaret hadde nytte av forskningen. Men her ga den nære tilknytningen til USA seg positivt utslag for de forskningsinteresserte. USA var jo hjemlandet til meget generell og vidt definert militær forskning. Sammen med de utallige forskningsoppholdene for FFI-forskere i USA ga dette denne organisasjonen en organisatorisk driv i en annen retning enn SI. Dette kom selvfølgelig også til å prege FFI som forskningsinstitutt.[25]

## Fra plan til handling

SI fikk støtte fra Industridepartementet til sin prøvelinje. Bevilgningene fra NTNF økte også raskt med over en million for 1963 og 1964.[26] I 1963 kunne SI sende de første integrerte kretsene ut på markedet. Det dreide seg om digitale kretser av ulike slag (flip-flop, invertere, telletrinn o l). Kretsene var bygget på en 2×2 mm silisiumskive med mellom 10 og 20 komponenter pr krets. Utover i 1963 ble det produsert mange ulike typer komponenter på prøvelinjen, først og fremst planar silisiumtransistorer av ulike slag.[27] Mot slutten av 1963 var det i alt levert nær fire hundre komponenter innenlands, ingen av typen digitale integrerte kretser. Under halvparten gikk til private firma, med NERA som den største mottaker.[28]

Også når det gjaldt å finne et firma som ville overta halvlederproduksjonen støtte SI på store vansker. Ingen av de etablerte elektronikkbedriftene var interessert, heller ikke noen som drev innenfor kjemisk eller metallurgisk industri. Det drev SI over til å planlegge bedriften selv. Samtidig måtte en også finne en løsning på markedsspørsmålet og produktutvalget. Her lukker imidlertid vår sirkel seg. Bare forsvaret kunne være en stor nok kunde til at det monnet for SI (vel og merke innen landets grenser). I forbindelse med forsvarets planer om en ny type sambandsutstyr fikk SI kontrakt på utviklingen av kretser til en miniatyrisert frekvenssyntetisator. På nytt dukker de "eksotiske" krav opp: ekstremt høy frekvens, lavt energiforbruk, lite volum og liten vekt. Den eneste løsningen for SI var å forlate ideen om monolittiske kretser og gå over til tynnfilmteknikk. I tiden fra 1965 til 1970 ble aktiviteten innen planarteknologien trappet ned i takt med nye tynnfilmproblemer: SI ble tvunget til å skifte teknologisk føring, og derved til å miste sitt tidligere fortrinn.

Med forsvarskontrakten i sikte lot det seg imidlertid gjøre å overbevise et skipsbyggekonsern om at halvledere var en god forretningside. I intimt samarbeid med Akergruppen ble så Aker Electronics etablert i 1965. Men som hos SI ble tynnfilmvirksomheten snart den viktigste og de dynamiske fordelene fra tidlig sekstitall gikk tapt.

Ved midten av 1960-årene kom for alvor Norges tekniske høgskole med i forskningsarbeidet rundt halvlederteknologien. Fra da overtok NTH gradvis hegemoniet innen dette feltet. SI og FFIs tid som dominerende krefter på halvlederområdet i Norge var begrenset. NTH kunne i sitt arbeid ta vare på de gode sidene både ved FFI-modellen (langsiktig og dyptpløyende forskning over statsbudsjettet) og SIs nærhet til industrien og de kommersielle muligheter.

## Noter

1. Se f eks: Malerba, F: *The semiconductor business*, London: F Pinter, 1985 og Tilton J E: "International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors" Washington D C: Brookings Inst., 1971. For den norske utviklingen henvises det til H W Andersen: "Import av aktive komponenter", notat nr 14 fra teknologihistorieprosj., Trondheim 1985.

2. T J Misa: "Military Needs, Commercial Realities, and the Development of the Transistor, 1948–1958." i: Smith, M R: *Military Enterprise and Technological Change*, Cambr. Mass.: MIT Press, 1985. Se også Malerba, F op cit.
3. Se f eks Smith, M R op cit for en mer detaljer redegjørelse, eller Noble, D: *Forces of Production*, New York: Alfred A Knop, 1985.
4. Begrepet teknologiinterne føringer stammer fra arbeider som R R Nelson og S G Winter: *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambr. Mass.: Belknap, 1982. En god sammenfatning finnes i Malerba, op cit eller i Dosi, G: *Technical Change and Industrial Transformation*, London: Macmillan, 1984.
5. Gode diskusjoner av dette finnes i Wejcman, J og MacKinzie, D (ed): *The social shaping of technology*, Milton Keynes: Open U P, 1985.
6. Trolig dreide det seg mer om å få arbeide med problemer i grensefeltet mellom metallurgi og anorganisk kjemi. Både Holwech og Barstad hadde lang erfaring på disse områdene fra tiden før de begynte på FFI, både fra industrilaboratorier og fra forskning. Silisiumprosjektet var en naturlig oppfølging av deres tekniske og vitenskapelige interesser innenfor en ramme som kunne være tjenlig for forsvaret (intervju med Holwech og Barstad).
7. Søknad til Forskningssjefenes råd. K-173:203/57/OH/KO datert 21/11 1957.
8. Ibid.
9. *Komponentteknologi. Perspektiver og kommentarer i samband med foreslått aktivitet.* Kjeller 1/7 1958. Notat fra T H Tønnesen.
10. Ibid.
11. Prosjektmålsetning i dok 59/FFIR/AT/TM/123:R-176 Datert 10/1 1959 og signert A Tonning. Se og intern rapport K-234 jan 1961 om *Framstilling av silisium mesadioder* av Barstad, Holwech og Tønnesen.
12. Intervju Holwech. Barstad og Tonning.
13. I den tidlige fase var forbindelsene til Univ i Oslo viktig. Mange av de tidlige forskerne var sterkt influert av prof O Hassel og hans banebrytende arbeider innen strukturkjemi og tilstøtende felt.
14. Søknad B 1181, op cit. Styreprot nr 2, s 776.
15. Ibid.
16. Se H W Andersen: *Fra det britiske til det amerikanske produksjonsideal.* Stensil, Trondheim 1986, s 279 ff.
17. Intern rapport: *Utvikling av elektroniske molekylarkomponenter.* Styreprot nr 2, s 1121. Intervju med Barstad.
18. Utkast til søknad til NTNF JB/ag 12.5.61. Bevilgningssum for 1962 tatt fra styreprot nr 2 s 1151A.
19. Når Stavik valgte SI framfor FFI hang nok det sammen både med forskningsprofilen og målene, samt at SI var i sterk vekst.
29. Styreprot nr 2, s 1240.
21. Datert Oslo, juni 1962 og undertegnet både av SIs direktør, styreformann og lederen for fysikkseksjonen. Hensikten med notatet var i første rekke å orientere Industridepartementet og NTNF i forbindelse med finansieringen av virksomheten for 1962 og 1963.
22. Malerba, F op cit.
23. "Prøvelinjens hensikt er som nevnt å gi tilstrekkelig produksjon for testing og bruksmessig evaluering. Samtidig er den et nødvendig mellomledd mellom laboratoriemessig fremstilling og fabrikkmessig produksjon." Fra: *Utvikling av nye produkter . . .*, op cit s 17.
24. Ibid s 18.
25. Wichen, Olav: *Militære kanaler for overføring av teknologi.* Notat nr 6 fra teknologihistorieprosjektet, Oslo: 1984.
26. Kilde til bevilgede beløp og prøvelinjen.
27. Se data-ark fra juni 1963 (digitale kretser i SI 28 P-serien eller oktober 1963 for SI 34 P-serien).
28. Liste over leveranser merket JB/bo 2.12.63.