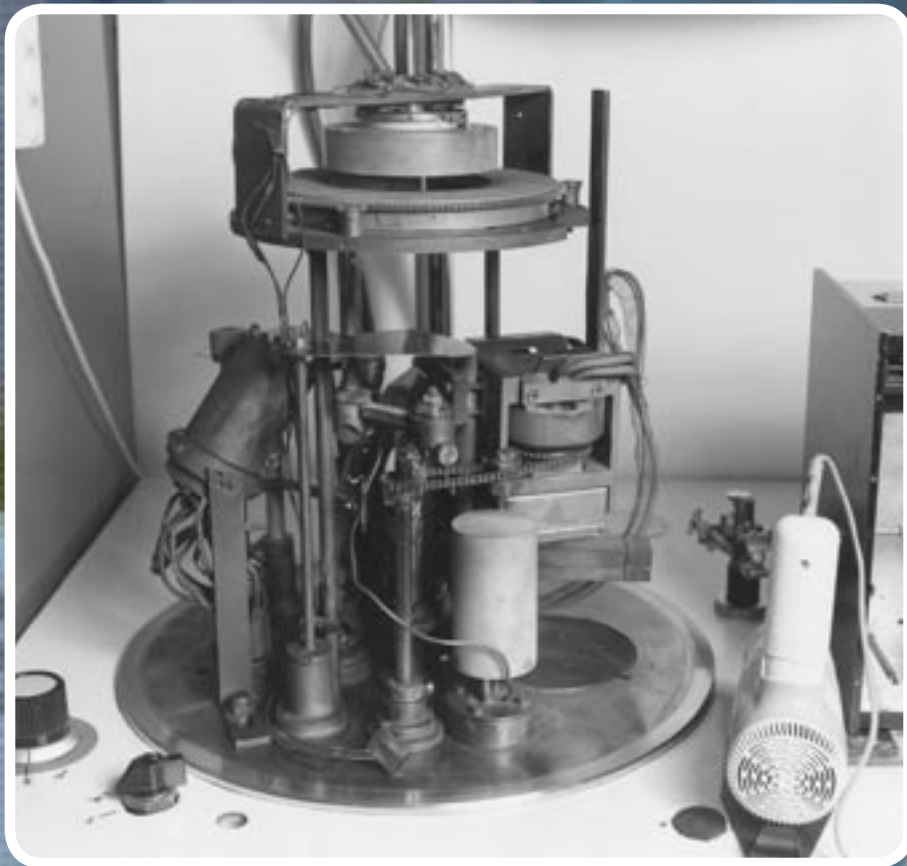


Fra Forsvarets forskningsinstitutt

HISTORIE

$$[M_1 \sin(\beta - \theta)]^2 = 7(M_0 \sin \beta)^2$$



Noen spesielle teknologi-
områder



Det har vært en spennende oppgave å bidra til at mange av instituttets prosjekter helt fra begynnelsen av er blitt beskrevet på en oversiktlig og relativt lettfattelig måte. Slik kan interesserte skaffe seg kjennskap til meget av det instituttet har arbeidet med. Mange travle prosjektledere og medarbeidere har bidratt og har vist stor hjelpsomhet

og tålmodighet. Flere pensjonister har også gitt verdifulle bidrag. En spesiell takk til alle ved publikasjonsavdelingen. Denne samlede innsatsen har vært avgjørende. Jeg takker alle for en svært interessant og lærerik tid.

Red.

Forord

Ved FFIs 50-årsjubileum i 1996 fikk Olav Njølstad og Olav Wicken, da ved Institutt for forsvarsstudier, i oppdrag å skrive FFIs historie for de første 25 år. Oppdraget tok spesielt sikte på å belyse instituttets rolle i en nasjonal sammenheng, i forhold til teknologiutvikling, industripolitikk og, med årene, forsvarsplanlegging. Kildematerialet var først og fremst FFIs arkiv med instituttets korrespondanse og møtereferater fra styrende organer, samt offentlige dokumenter av ulike slag, og Egil Eriksens og Egil Strømsøes samlede fremstilling av prosjekt-aktivitetene ved instituttet. Oppdraget ble løst på en utmerket måte ved utgivelsen av boken "Kunnskap som våpen". Den har i høy grad bidratt til å gi instituttet som helhet og dets tidlige ledere en velfortjent heder.

Imidlertid var det tidlig klart at oppdraget som ble gitt til Njølstad og Wicken ikke ville gi rom for nevneverdig omtale av selve gjennomføringen av instituttets prosjekter. Hvordan oppstod ideene som ledet til prosjektene? Hva var forutsetningene for gjennomføringen? Hvem stod for den, og hvilke utfordringer møtte de underveis? Med andre ord, vi savner vitnefastede nedtegnelser fra det "indre liv" i instituttet som frembrakte de resultatene som berømmes i nasjonalt perspektiv. Dette har vi bedt prosjektledere og prosjektmedarbeidere å fortelle om.

Hvordan skulle det gjenstående arbeidet legges an? Etter nøye vurdering har vi satset på en serie historiske hefter som hvert dekker et begrenset prosjekt eller fagområde. Det er flere fordeler ved denne løsningen: Arbeidene kan utgis etter hvert som de blir ferdige, og det krever ikke meget å utgi en forbedret utgave dersom feil eller mangler skulle bli påpekt.

Prosjektet har en risiko. Jo bedre vi lykkes med å få frem de viktige bidragene og bidragsyterne, desto kjedeligere blir det med de mangler som allikevel ikke unngås. Også med tanke på oppretting av slike mangler er hefteformen enklest.

Oppslutningen om dette prosjektet har vært meget stor, og mange tidligere og nåværende medarbeidere har bidratt. De er nevnt

som kilder for de enkelte heftene hvor deres bidrag befinner seg.

Instituttets uten sammenligning største og teknologisk bredeste prosjekt-område har vært utviklingen av sjømålsraketter. Den første Penguin-raketten ble i sin helhet utviklet av instituttet, og systemarbeider og kritiske deler er utviklet for de påfølgende versjoner av Penguin og NSM (Nytt SjømålsMissil). En samlet historisk fremstilling av denne virksomheten er i arbeid i regi av Kongsberg Defence & Aerospace. Vi har valgt å avvente den før vi tar stilling til om det er aktuelt å utgi et supplement innenfor denne hefteserien.

Erling Skogen er redaktør for det samlede prosjektet. Han har nedlagt et betydelig arbeid i bearbeiding av tekstene og fremskaffing og redigering av billedmaterialet.

Kjeller 1. mars 2003

Nils Holme

Noen spesielle teknologiområder

Helt fra 1950 hadde instituttet et glassblåserverksted for fremstilling av apparatur for kjemilaboratoriene. Glassblåserverkstedet ble etter hvert et velutstyrt glassteknologisk laboratorium med flere spesialiteter. Allerede i 1954 var det etablert et elektroteknisk laboratorium for fremstilling av trykte kretskort som et av de første i Norge. Denne virksomheten ble etter hvert betydelig oppdatert og instituttet ble etter hvert ledende i Norge på dette området. Det var i første rekke datamaskinkonstruktørene som var forbrukere. Siden kom Penguinprosjektet som en tung forbruker. Penguinsøkeren krevde kunnskaper innen flere spesielle fagområder. Glassmetall sammenføyninger var et slikt område i forbindelse med fremstilling av IR-detektorer. Detektoren krevde også kunnskaper innenfor tynnfilm filterteknikk, som var et helt nytt fagområde. Andre nye fagområder var mikromønsterprosesser, bl.a. for fremstilling av detektorelementer, og tynnfilm hybridteknologi for miniatyrisering av elektronikk. For begge disse områdene og for filterfremstilling ble det opprettet spesielle laboratorier.

GLASSTEKNOLOGI

Det var glassblåser Jan Knudsen som bygde opp det glassteknologiske laboratoriet ved FFI. Knudsen ble ansatt ved instituttet i 1950 og begynte som glassblåser ved Avdeling for kjemi (Avd K), hvor han utførte bl.a. teknisk glassblåsing for de teknisk-kjemiske laboratorier i tilknytning til Norges første atomreaktor, som var under oppbygging. Han utførte også en rekke krevende oppgaver for forskningssjef Brynjulf Ottar.

Knudsen vokste opp i et typisk glassblåsermiljø, sier han selv, og gikk læretiden hos sin far, som også var glassblåser.

Da utviklingen av Penguins infrarøde målsøker startet i 1962 ble Knudsens medvirkning av avgjørende betydning. Glassblåserverkstedet ble flyttet til kantinekjelleren, og Tycho Jæger som var prosjektleder for Penguinsøkeren, ble Knudsens nærmeste foresatte. Det ble fremdeles fremstilt ren glassapparatur, særlig for Avd K og Avdeling for Toksikologi (Avd TOX); meget kompliserte kolonner, destillasjonsapparater osv. Det ble utført en mengde forskjellige typer oppdrag: Apparaturblåsing, presisjonssliping, glassmetall forbindelser og glass-glass forbindelser med stor forskjell i utvidelseskoeffisienter. Glasslaboratoriet fikk etter hvert meget godt utstyr, og Knudsen og hans mannskap kunne utføre alle typer glassteknologiske oppgaver. Det ble arbeidet med toleranser ned til 0,1 millimeter. Laboratoriet var stort

og romslig og hadde plass til horisontale og vertikale glassblåserdreiebenker og en moderne brenner som kunne smelte fra sodaglass til kvarts, temperaturer mellom 400 og 2000°C. Det fantes også høyfrekvensutstyr for smelting og sammenføyning av glass til andre materialer.

Den største utfordringen kom i forbindelse med Penguinprosjektet. Det skulle utvikles og fremstilles små termosflasker (Dewars) av glass for kjøling av søkerens detektor. Termosflasken ble fylt med flytende nitrogen og skulle holde detektoren nedkjølt under raketts flukt. (Se "Elektrooptikk, utvikling av IR-detektorer" i denne hefteserien.) Fremstillingen av termosflaskene ble en meget komplisert oppgave, hvor Knudsen gjorde et pionerarbeid, både når det gjaldt smelting av glass til safir og glass til metall. Særlig var smelting av glass til forskjellige Irtrammaterialer et nybrottsarbeid og representerte en teknologi som Knudsen var alene om.

Etter hvert utviklet det seg et spesielt fagmiljø omkring Jan Knudsen, og han lærte opp sin etterfølger som skulle føre instituttets glassblåsertradisjoner videre.

Knudsen hadde i sin tid flere lærlinger, som alle ble presset hardt når det gjaldt nøyaktighet. Det var Jan Gulliksen, Bjørn Utsikt og John Slettmoen. Slettmoen gikk senere over til KDA (Kongsberg Defence and Aero-



Jan Knudsen i bakgrunnen og lærling Jon Gulliksen på glassteknologisk laboratorium 1967.



Jan Knudsen foretar utgassing av Vacometall før sammenføring til glass for fremstilling av glassmetalloverganger 1967.

space) avdeling på Kjeller. Siden kom Elin og Arne Mellum, som også hadde sin læretid hos Jan Knudsen. Elin startet sitt eget glassblåserverksted i Aurskog, mens Arne fortsatte som instituttets glassblåser.

Knudsen ble betegnet som en glasskunstner, noe han har vist ved å ha fremstilt bl.a. et par vakre seilskuter med full rigg og tauverk i glass.

Bidragstere: Erling Malvin Sunde, Erling Skogen.



En av Jan Knudsens seilskuter i glass.

TRYKT KRETSKORT TEKNOLOGI

På slutten av 1950-tallet økte interessen for trykte kretser betydelig ved instituttet. I tidsskriftene kunne en stadig se annonser og artikler knyttet til denne måten å binde sammen elektriske komponenter på. Ved Avdeling for telekommunikasjon (Avd T) hadde en allerede en tid brukt trykte kretskort i forbindelse med miniatyrisering av nærhetsbrannrør for 81 mm bombekastergranat, så det fantes en del kunnskaper og utstyr for fremstilling av slike kort.

Navnet "Trykt kretskort" kommer av at det til å begynne med ble trykket og sintret ledningsmønster av sølv på en bakelittplate. Denne metoden hadde mange svakheter og

ble aldri brukt på FFI. Siden ble det i stedet limt et tynt kobberfolium på bakelittplaten og ledningsmønsteret lagt på kobberfoliet med en spesiell teip. Deretter ble mellomrommene etset vekk i et etsebad, og en sto tilbake med det ønskede ledningsmønster i kobber. Dette ble fremstillingsprinsippet for all senere kretsproduksjon, men en har beholdt uttrykket "Trykt krets".

Det elektroteknologiske laboratoriet, som var etablert i kjelleren på Avd T ble brukt av stadig flere. Det var i første rekke Siffergruppa som brukte kretskort i forbindelse med utvikling av datamaskiner. En som senere skulle følge utviklingen av trykte kretskort på nært



Tone Sømme ved belsningsutstyret.

hold i mange år var Øystein Lundberg. Han begynte som laborant for Arne Solesvik, som var en av forskerne i Siffergruppa.

Kretsfremstilling over til det nye elektronikkbygget

I 1962 ble det nye elektronikkbygget tatt i bruk. Avd T og Avdeling for radar (Avd R) ble samlet der, og elektronikkmiljøet ble betydelig styrket og dermed også behovet for kretskort.

Et nytt teknologisk laboratorium ble etablert i kjelleren i A-fløyen i det nye bygget. Alt utstyret fra Avd T ble flyttet over og en del nytt kom til. Det var Solesvik som fikk ansvaret for å bygge opp det nye teknologilaboratoriet. Laboratoriet var den første tiden selvbetjent. Kretsene var relativt enkle og de fleste medarbeiderne hadde fått innsikt i kretskortfremstilling. I 1967 ble Øystein Lundberg ansatt som laborant og fikk ansvaret for kretskortfremstillingen. Til å begynne med arbeidet Lundberg for det meste alene der.

Behovet for kretskort økte og laboratoriet ble for lite. I 1970 flyttet så virksomheten over til romsligere og mer hensiktsmessige lokaler i C-fløyen.

Ledere og mellomrom på et kretskort kunne på den tiden være mellom 2 og 5 mm. Leder mønsteret ble lagt direkte på kopperfoliet med svart teip, og mellomrommene etses vekk med jernklorid. Etsingen foregikk ved "dyppemetoden", dvs. kortet ble dyppet ned i en beholder med etsevæske og beveget frem og tilbake. Siden ble det boret hull i kobberlederne hvor både aktive og passive komponenter kunne festes og loddes til. Etsevæsken var jernklorid oppløst i vann og var et aggressivt og ubehagelig kjemikalium som farget klær og fingre brune. Det ble nok brukt både spesialforkle og gummihansker, men hanskene var klumpete og ikke alltid egnet til å håndtere kortene med, så det gikk en god del ut over fingrene.

På midten av 1970-årene hadde behovet for kretskort økt så kraftig at lokalene



Øystein Lundberg ved den digitale boremaskin.

igjen ble for trange. Enda en gang flyttet virksomheten over til A-fløyen til større og mer hensiktsmessige lokaler og en god del nytt utstyr.

Det var de som utviklet regnemaskiner og elektronikk til Penguin som var de største avtagerne av trykte kretskort. Etter hvert ble mønsterkonfigurasjonene mer og mer kompliserte og kravet til nøyaktighet økte. I tillegg ble det også behov for dobbeltsidige kort, dvs. kretsmønster på begge sider av kortet. Behovet for trykte kretskort økte stadig, og på begynnelsen av 1970-tallet ble Ronald Berberg ansatt for å ha ansvar for de kjemiske prosessene.

På slutten av 1970-tallet ble det tatt i bruk en ny etsemaskin for å oppnå større mønster-nøyaktighet. Her ble etsevæsken sprutet loddrett på kortet.

Fototeknikken tas i bruk

Etter hvert som ledningsdimensjonene stadig ble mindre og kravet til nøyaktighet større,

måtte en også her ta i bruk fototeknikken. Kravet ble linjebredden og avstanden ned til 1 mm.

Det ble innkjøpt et stort og moderne reduksjonskamera til dette formålet. Kretsmønsteret ble teipet opp på et transparent plastfolium og nedfotografert 3-4 ganger til riktig størrelse på film. Nå ble det lagt på et lag med fotoresist, en slags lysfølsom lakk, i et tynt lag på den kobberbelagte bakkellitt-plata. Etter herding ble fotoresistbelegget belyst gjennom filmen med det nedfotograferte mønsteret. Ved fremkalling ble ønsket kretsmønster i fotoresist stående igjen på kobberlaminatet. Alt kobber som ikke var belagt med herdet fotoresist ble etset vekk. Tilbake sto det ønskede kretsmønsteret.

I 1978 ble lokalitetene i A-fløyen utvidet ytterligere på grunn av økt virksomhet. Laboratoriet fikk en del nytt utstyr, bl.a. en halvautomatisk boremaskin med stor presisjon. Det var Per Ræd som ledet virksomheten på denne tiden. Han sluttet i 1980 for å



Fra etse- og pletteringslinjen. Laila Trosdahl-Iversen med ferdig innerlag for flerlagskort.

overta ansvaret for kjemidelen ved CAPINOR, et firma som hadde startet produksjon av trykte kretskort på Gjøvik. Etter Røed kom Steinar Dahle som ansvarlig for laboratoriet.

Datateknologien overtar utlegg av kretsmønstre

På denne tiden ble det også tatt i bruk et datastyrt utleggsutstyr som ble anskaffet av Yngvar Lundh. Det var en CAD (Computer Aided Design) maskin fra Computer Vision. Utstyret ble plassert i kjelleren i elektronikkbyggets C-fløy. Det var Torkel Kåsa og Kai Eriksen som var ansvarlige for driften av anlegget. Operatører var Guri Bolstad og Anne Marit Karlsen. Siden kom Mentor, et digitalt konstruksjonsutstyr både for trykte kretser og integrerte kretser.

Fra nå av var utlegg med etterfølgende nedfotografering unødvendig. Kretsutlegget ble framstilt direkte til riktig dimensjon.

Over til dobbeltsidige kretskort

Tidlig på 1980-tallet gikk en over til dobbeltsidige kretskort med gjennompletterte

hull. Ledningsmønstrene på de to sider ble forbundet med hverandre ved å plette kobber i hullene mellom dem. En etse- og pletteringslinje med 13 forskjellige bad ble tatt i bruk, og det ble kjemisk lagt på et tynt lag med kobber på hullveggene, som siden ble opplettet med et tykkere kobberbelegg. Det ble innkjøpt en numerisk styrt boremaskin, som kunne bore hull med en diameter ned til 0,5 mm med en nøyaktighet på 0,1 mm. På midten av 1980-tallet ble det fremstilt lederbredder ned til 0,3 mm.

Det ble stadig eksperimentert med nye etsevæsker og etsemetoder. Det ble tatt i bruk en ny etsemaskin for å oppnå større mønsternøyaktighet. Her ble etsevæsken sprutet horisontalt på kortet. I en kortere periode ble den mere miljøvennlige Ammonium Persulfat brukt som etsevæske. Senere kom vannstoff peroksyd, som ga både eklere, nøyaktigere og raskere etsing.

En var tilbake til dyppemetoden. Det ble også tatt i bruk en ny type fotoresist i form av en film som ble lagt på kobberfoliet, som nå var



bare 5 mikrometer tykt. I de områder hvor fotoresisten var vasket vekk under fremkallingen ble det nå plettert opp kobber til fotoresistens tykkelse på 25 mikrometer med rette vegger. Det uønskede 5 mikrometer tynne kobberbelegget ble etset vekk meget raskt med vannstoff peroksyd.

Fra 1979 og frem til 1982 hadde Steinar Dahle ansvaret for virksomheten.

Tilbakeslag for kretsfremstillingen

Tidlig på 1980-tallet brøt det ut brann i pletteringsrommet, og hele etse- og pletteringslinjen ble ødelagt. Laboratoriet ble bygget opp igjen i løpet av et års tid med nytt og oppdatert utstyr, og en kunne starte opp med fremstilling av mangelags kretskort. I 1986 ble Rolf Johansen ansatt som leder av laboratoriet og året etter ble Tone Sømme ansatt som laborant. Det ble fremstilt stadig mer kompliserte kort, og i begynnelsen på 1990-tallet ble det produsert opptil 20-lags kretskort med gjennompletterte hull. For spesielle formål ble det også produsert fleksible kretskort for sammenkobling av større elektroniske enheter. Arbeidsmengden økte stadig, og i 1991 ble Laila Trosdahl-Iversen ansatt som laborant.

På denne tiden var laboratoriet ledende i Norge når det gjaldt fremstilling av avanserte kretskort.

Fremstilling av trykte kretskort opphører ved FFI

For å kunne følge med i den teknologiske utviklingen på dette feltet, trengtes det stadig nye investeringer. Sett i forhold til det behovet for kretskort som var på FFI, fant en disse investeringene for store. På denne tiden mente en dessuten at fremstillingen av kretskort i den sivile industri var kommet opp på et nivå som kunne tilfredsstille instituttets behov.

På slutten av 1994 opphørte fremstilling av kretskort. En kan trykt si at en teknologisk epoke var avsluttet ved instituttet.

Mesteparten av utstyret ble solgt, men en del ble beholdt for inntakskontroll av kort som fra nå av ble kjøpt fra private firmaer. Det ble også opprettet et laboratorium for påloding av overflatemonterte komponenter, som på denne tiden kom som erstatning for komponenter med ben. Laboratoriet fikk også utstyr for reparasjon av defekte kretskort. Tone Sømme fikk ansvaret for denne virksomheten.

Bidragstyttere: Øystein Lundberg, Erling Skogen.

TYNNFILMTEKNOLOGI

På slutten av 1950-tallet var transistoren rutinemessig i bruk i mye av det utstyret som ble utviklet ved FFI. Det var et enormt fremskritt, spesielt hva effektforbruk og størrelse på utviklet utstyr angikk. I tidsskrifter kunne en også lese om en ny sammenkoblingsteknikk for transistoriserte kretser, den såkalte tynnfilmteknikk, hvor forbindelsen mellom komponentene besto av tynne metalliske ledere. Bruk av en slik teknikk ville være meget plassbesparende, men teknikken krevde både kunnskaper og utstyr som instituttet på den tiden ikke rådte over. Det var først i 1960 at kunnskapen om tynnfilmteknologi kom til FFI. Christian Holm kom da hjem fra England etter å ha arbeidet ved Royal Radar Establishment (RRE), Malvern, England, med stipendium fra Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF).

Han arbeidet med denne teknologien i forbindelse med "Distributed resistor capacitor network for micro-miniaturisation", som ble et viktig bidrag til mikrominiaturiseringen av elektronikk som foregikk ved RRE. Dette var på den tiden spissteknologi i verdenssammenheng, og RRE var blant de fremste på dette området.

Erling Skogen har arbeidet med tynne filmer til forskjellige formål fra 1960 til 1982, og har skrevet om det.

Tynne filmer

Deponering av tynne metallfilmer på et underlag blir gjort ved at ønsket metall, ofte gull, blir smeltet i en digel i et vakuumkammer. Etter at metallet er smeltet begynner det å fordampe, og metallmolekylene beveger seg i



Interiør fra deponeringsanlegg i begynnelsen av 1960-årene.

rette linjer på grunn av det lave trykket i kammeret og kondenseres på omgivelsene som har lavere temperatur. Hvis for eksempel en halvlederskive befinner seg over dampkilden blir den da dekket med en tynn film av metall, hvis tykkelse lett kan kontrolleres under pådampingsprosessen. Tykkelsene er normalt under en titusendels millimeter.

Dielektriske filmer deponeres på lignende måte. Også her legges utgangsmaterialet i en digel. Materialet smelter ikke, men sublimerer etter å ha oppnådd en bestemt temperatur og kondenseres til en tynn dielektrisk film på det ønskede underlag, substratet.

Tynne filmer kan også fremstilles ved såkalt sputtering. Her foregår deponeringen av den tynne filmen ved at materialkilden bombarderes med gassioner, som slår løs atomer fra materialet som så kondenseres på substratet.

Ved noen tilfeller er det gunstigst å smelte materialet ved hjelp av en elektronkanon.

Det var denne type teknologi en ville innføre på FFI. I første rekke for fremstilling av tynne dielektriske filmer, både til antirefleksbehandling av optiske komponenter og til fremstilling av optiske filtre.

Etablering av tynnfilmlaboratorium

Etter at Holm kom tilbake fra England ble det besluttet å bygge opp et spesiallaboratorium for deponering av tynne filmer. Året var 1960, og det var Christian Holm og Erling Skogen som satte i gang med dette i annen etasje på Avd T. Som vanlig var det vaktmesteren og altnuligmannen Albert Klinge som foresto ombygging av lokalet og tilpassing til ny virksomhet.

Det var kommet en ny dimensjon til de teknologiske fagområder som en tidligere var vant



med. Nå ble det i tillegg vakuumpumper av forskjellige slag, slanger, gassflasker og manometre.

Det første pådampingsanlegget ble bygget opp av deler som en fikk fra mange forskjellige steder. Særlig var Avd K en god leverandør av brukte deler. I det ene hjørnet av laboratoriet var det en arbeidsbenk hvor en kunne lage smeltinger for forskjellige pådampingsmaterialer og deler for mekaniske modifikasjoner i vakuumkammeret, som det alltid var et behov for. På arbeidsbenken var det en blanding av elektrisk måleutstyr, digelmaterialer, diverse verktøy og en solid skrustikke.

Men elektronikken var fremdeles viktig, bl.a. i forbindelse med oppbygging av utstyr for måling av filmenes tykkelse under pådampingsprosessen. Utstyret ble for det meste utviklet og bygget på laboratoriet.

De første tynne filmer

Til å begynne med ble det laget speil ved å deponere aluminium på glass. Deretter ble det tynne dielektriske filmer, både til antirefleksbehandling av optiske komponenter og til filterformål. Det nye laboratoriet var i gang.

Flere oppdragsgivere

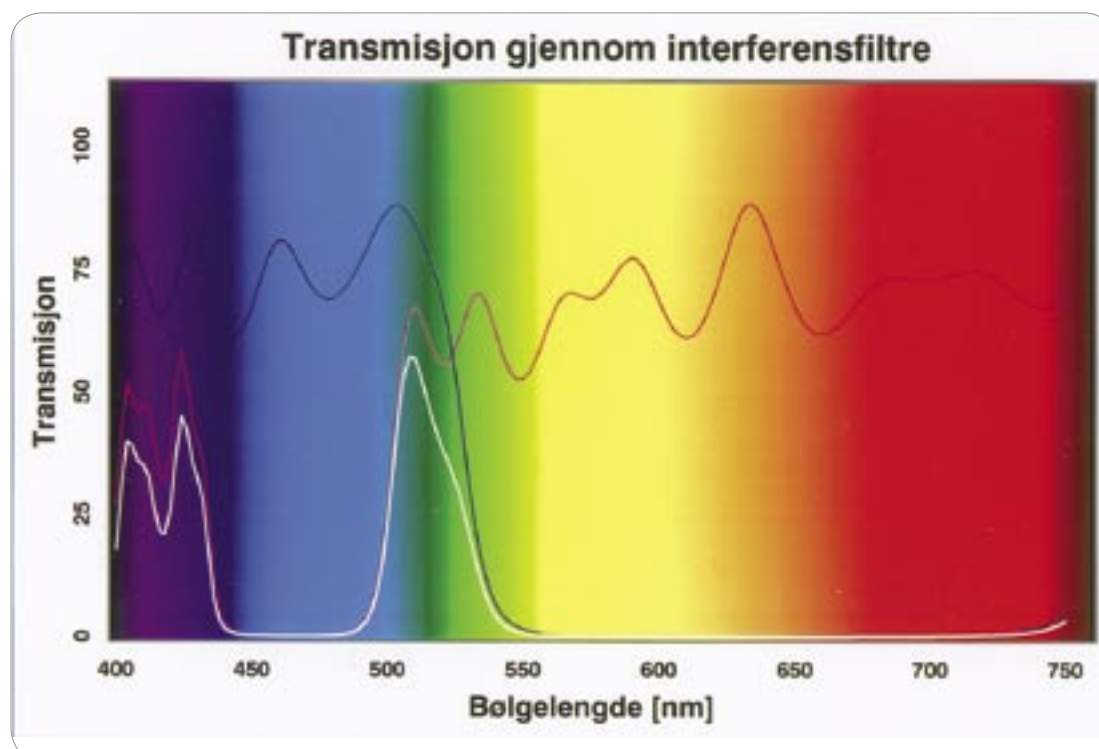
På denne tiden var det også opprettet en gruppe som arbeidet med elektrooptikk, (se "Elektrooptikk" i denne hefteserien) og "Tynnfilm-laboratoriet", som det var blitt hetende etter hvert, ble snart et viktig laboratorium også for denne gruppen. Det var i første rekke Tycho Jæger, Terje Lund og Gunnar Wang som var oppdragsgivere.

Laboratoriet flytter

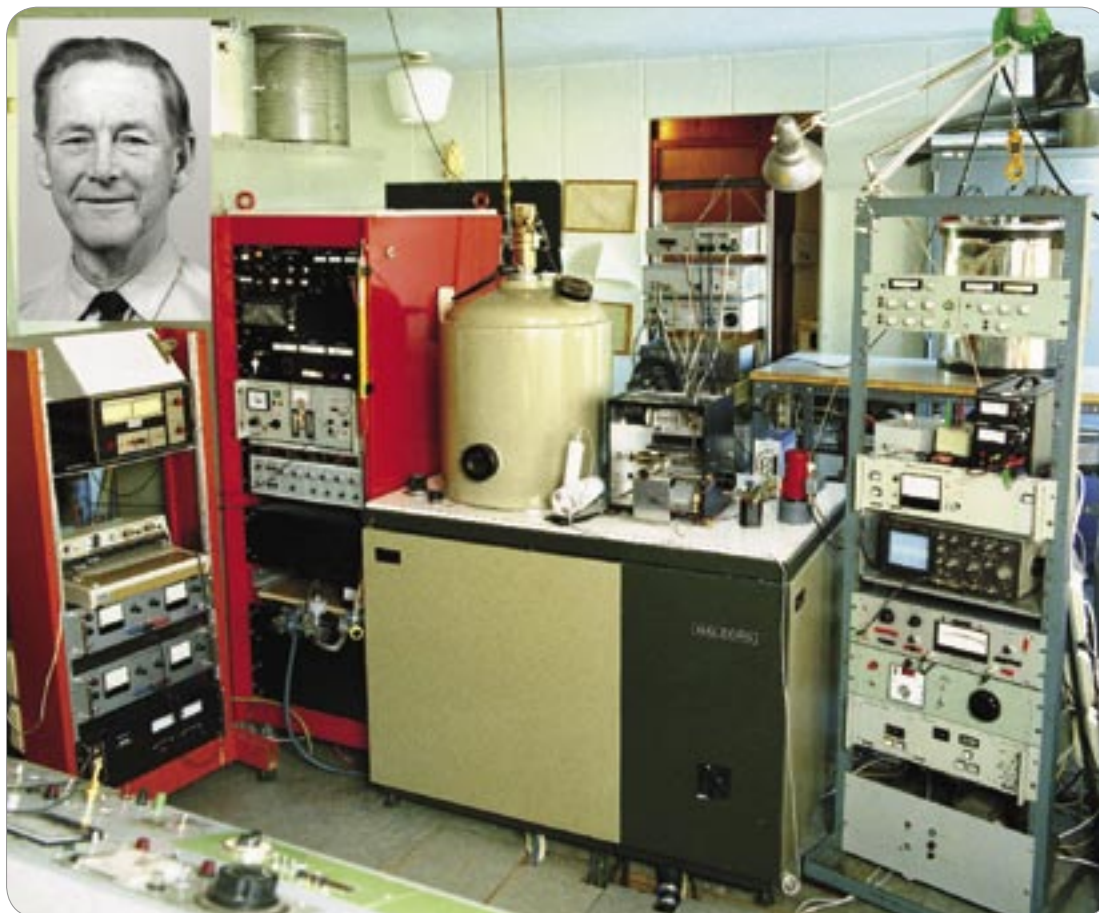
I 1962 flyttet virksomheten over til nytt laboratorium i tredje etasje i B-fløyen i den nye Avdeling for elektronikk (Avd E). Etter hvert ble det bygget opp flere deponeringsanlegg både for pådampning og sputtering med tilhørende måleutstyr. Det ble også kjøpt inn fotospektrometer for måling og fremstilling av transmisjonskurver for produserte filtre.

Interferensfiltre

For å kunne gi søkersystemet i Penguinraketen de optimale spektrale egenskaper som krevdes for å skille skipsmålenes IR-stråling fra strålingen fra sjøen og omkringliggende objekter var det nødvendig å beherske fremstillingen av filtre for det optiske og infrarøde bølgelengdeområdet. Denne kompetansen



Bildet viser fargespektret med transmisjonskurver for forskjellige filtre. Den hvite kurven viser den resulterende transmisjonskurve i bølgelengdeområdet 500-550 nm.



Interiør fra tynnfilmlaboratoriet i begynnelsen av 1980-årene. Bilde av Christian Holm innfelt.

fikk også stor betydning for laserforskningen som også tok til i begynnelsen av 1960-årene.

Interferensfiltre for det optiske og infrarøde bølgelengdeområdet var kommersielt tilgjengelige, men meget kostbare og til helt uakseptabel leveringstid. Av sikkerhetsmessige grunner var det også ønskelig å ha hånd om fremstillingen ved FFI. En kunne også forandre et filters karakteristikk på kort varsel, noe som ofte skjer i en utviklingsfase.

Interferensfiltre fremstilles i vakuum ved deponering av et antall tynne dielektriske filmer med kontrollerte tykkelser og brytningsindeks på et egnet underlag, for eksempel safir. Deponeringen kan skje ved fordampning, sublimering eller sputtering. Filterets transmisjonskurve bestemmes av de dielektriske filmers tykkelse, brytningsindeks og antall lag.

Automatisering av filterfremstilling

I begynnelsen på 1970-tallet var digitalteknikken vel etablert rundt omkring på laboratoriene, og etter hvert ble den tatt i bruk også på tynnfilmlaboratoriet. Holm var alltid åpen for nye muligheter, og digitalteknikken med sin mulighet for programmering ga store muligheter både for syntetisering av filtre og automatisk fremstilling. Fremstilling av mange lags filtre krevde stor nøyaktighet og påpasselighet av operatøren, også tålmodighet. Særlig det siste var ikke Holms sterke side, dessuten likte han ikke rutinearbeid. Etter hvert utviklet han apparatur og programmer for syntetisering og fremstilling av filtre. Snart kunne store deler av filterfremstillingen foregå automatisk, og Holm kunne bruke tiden til utvikling av nye filtre og nye metoder.

Holm gikk av med pensjon i 1992 og ble etterfulgt av Kjell Arne Hellum.

TYNNFILM HYBRIDTEKNOLOGI

I 1961 fikk Skogen stipendium fra NTNf og arbeidet ved den samme avdelingen ved RRE som Holm hadde gjort. På denne tiden utviklet de en forsterker med tilhørende motstander og kondensatorer integrert i en halvlederskive. Nødvendige ytre ledningsforbindelser var laget i tynnfilmmønster av gull. Denne kretsen ble demonstrert for første gang på Palladium i London i mars. Dette var en stor begivenhet i mikroretsverdenen.

En annen gruppe arbeidet med tynnfilm hybridteknologi. Dette var en kombinasjon av passive metalliske tynnfilm ledningsmønstre og ukapslede transistorer fra den monolitiske teknologi som aktive komponenter, bundet sammen til en elektronisk krets.

Denne teknikken bidro sterkt til miniatyrising av elektronikk.

Hybridkrets for høye frekvenser

Skogen arbeidet i hybridgruppen og undersøkte tynnfilmteknologiens muligheter ved høye frekvenser. Den var hittil bare brukt i lavfrekvensområdet. Som den første i UK utviklet han en oscillator som svingte med 200 MHz. Hans arbeid med tynnfilm hybridkretser ved RRE ga grunnlaget for den hybridisering som senere kom ved FFI.

Hybridisering ved FFI

Etter at han kom tilbake fra England arbeidet han sammen med Holm igjen en tid. Det gikk i fremstilling av filtre, antirefleksbehandling



Marit Wang og Erling Skogen fremstiller mikromønstre på "Renlabben". Midten av 1970-årene.



og beskyttelse av optiske komponenter. Etter hvert meldte behovet seg for miniatyrisering av elektronikk fra flere hold. Særlig var det Jægers gruppe som fikk for lite plass for sin elektronikk, og det var tynnfilm hybrid teknologien som ble løsningen. Og dette ble begynnelsen på hybrid-miniatyriseringen ved FFI.

Nytt laboratorium

Det ble bygget opp et nytt laboratorium for fremstilling av mikromønstre og hybridkretser ved siden av Holms tynnfilmlaboratorium. Det var viktig å være i nærheten av pådampingsanleggene hvor de tynne filmene ble deponert på kretssubstratene. (Ofte 1 mm tykke keramiske plater.) For å kunne fremstille mikromønstre i dimensjoner ned til 10 mikrometer, trengtes et laboratorium som var spesielt rent. Det ble installert en renbenk hvor det ikke skulle finnes støvpartikler større enn 1 mikrometer. Her foregikk fremstillingen av mikromønstre. Selv et lite støvkorn kunne være ødeleggende når ledningsmønstrenes dimensjoner var for eksempel 10-20 mikrometer brede. Pga. renbenken ble miljøet i hele laboratoriet ganske rent. De som jobbet der hadde hvite nylonfrakker på for å holde støv og urenheter borte. Laboratoriet ble kalt "Renlab'en".

Det var flere ingeniører og laboranter som arbeidet på laboratoriet i kortere eller lengre tid.

Ikke alle egnede seg for slik nitid nøyaktighet og renslighet som var nødvendig i fremstillingsprosessen, men de fleste sluttet for å skaffe seg videre utdanning. Blant de som i lengre tid gjorde en viktig innsats på Renlab'en var laborantene Lisbeth Halvorsen, Marit Wang og Inge Knoph. Lisbeth var sportsfisker og Inge var fallskjermhopper. En mandag morgen kom han ikke på jobb. Med bare reservefallskjermen åpen falt han rett i isen på Einavannet. Han ble tre centimeter kortere, men etter en stund startet han på sin videreutdanning.

Fremstilling av mikromønstre og hybridkretser

Den første krevende oppgaven var fremstilling av en kodeskive for Penguin søker. Det var en rund glasskive, 73 mm i diameter og 1 mm tykk. Den skulle ha en mønstrekonfigurasjon med 720 radielle linjer i en rand

rundt periferien. Hver linje hadde en bredde på 0,3 mm med en nøyaktighet bedre enn 0,015 mm. Glasskiven ble fremstilt ved instituttets glassteknologiske laboratorium av Jan Knutsen.

På den tiden fantes ikke numerisk styrte tegnemaskiner som kunne fremstille tilstrekkelig nøyaktige mønstre for nedfotografering. Problemet ble løst ved å frese ut et mønster i messing på Fellesverkstedets meget nøyaktige jiggboremaskin og preparert for nedfotografering 10 ganger til riktig dimensjon. Filmen ga originalmønstre for fremstilling av kodeskiven.

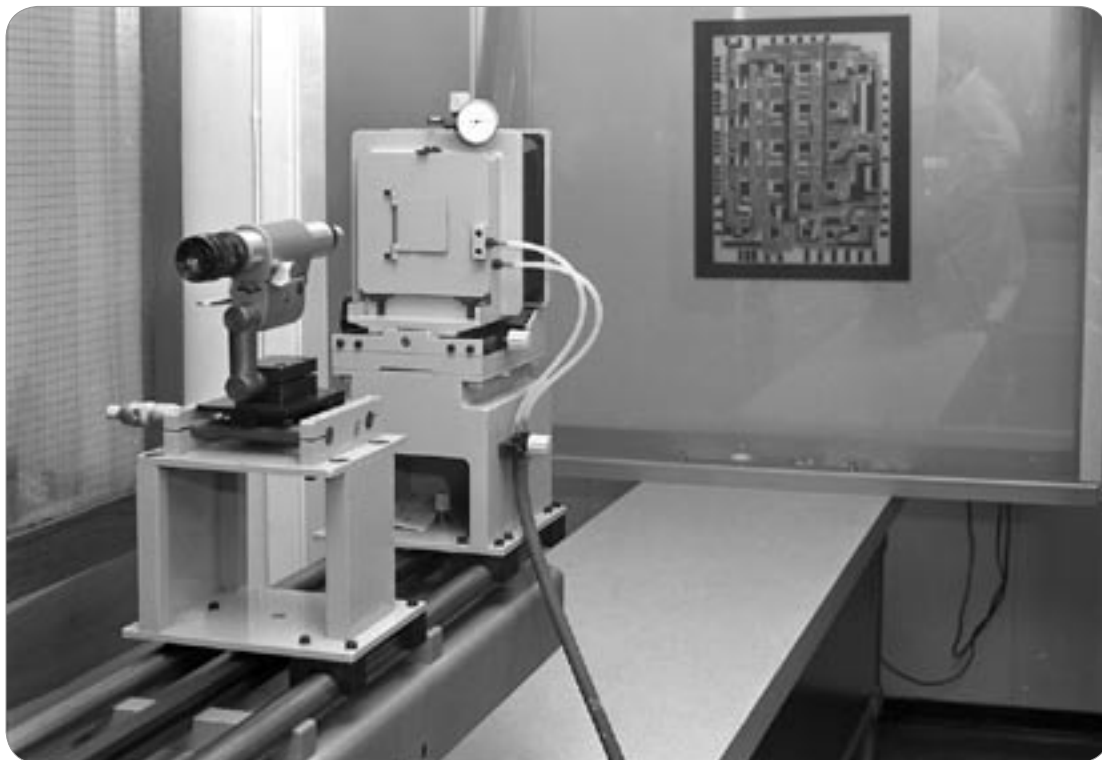
Etter at vår første Kingmatic numerisk styrte tegnemaskin med meget stor nøyaktighet kom til Fellesverkstedet, ble alle mulige originalmønstre for tynnfilmkretser lett fremstilt.

For fotografisk reduksjon av originalmønstret fra Kingmatic, konstruerte Skogen et spesialkamera bygget omkring et 150 mm Mikro Nikkor objektiv. Kamerahus og optisk benk ble fremstilt på Fellesverkstedet. Med dette kameraet ble det rutinemessig fremstilt filmmasker med linjer og mellomrom ned til $10 \pm 0,1$ mikrometer. Det ble brukt en Kodak spesialfilm med en hastighet på 0,01 ASA og med en oppløsning på 2000 linjer/mm. Laboratoriet hadde nå både utstyr og kunnskaper til å produsere filmmasker for alle ønskelige mønstrekonfigurasjoner. På den tiden kostet det kr 1000,- å få fremstilt et maskesett ute. På Renlaboratoriet ble det etter hvert fremstilt hundrevis av maskesett for forskjellige formål. Foruten meget kort leveringstid hadde en kunnskapene i huset og sparte mange penger.

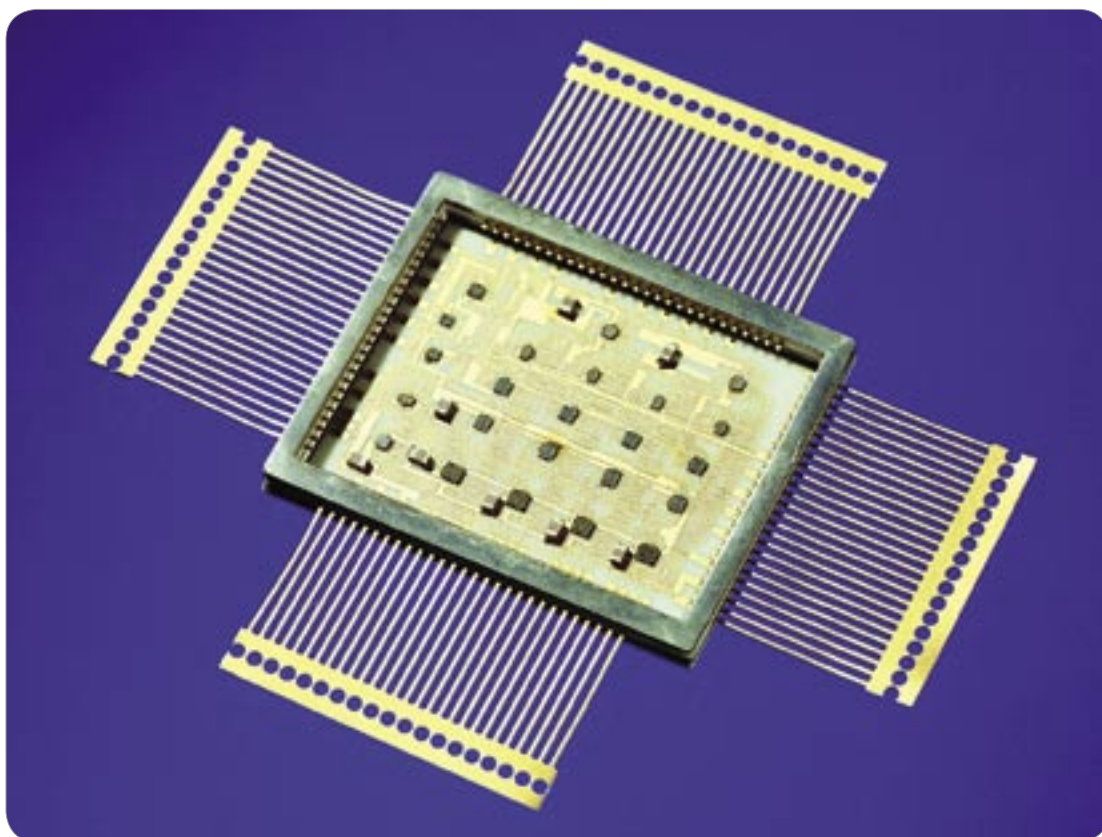
Det ble fremstilt kodeskiver for IR-kamera, skalaer og retikler for laser avstandsmålere, og mikromønstre for mange andre formål. En spesiell oppgave var fremstillingen av et analysegitter i gull som ble brukt i et elektronspetrometer i Spacelab 1 om bord i romferga Columbia i 1983, etter oppdrag fra Ionosfæregruppa.

Hybridisering av dataprosessoren MIPROC

Den største oppgaven for Renlab'en var hybridiseringen av dataprosessoren MIPROC for digital signalbehandling i søkeren for Penguinraketten, som foregikk i perioden 1975-1980 (se "MIPROC mikrodatamaskin" i



Skogens reduksjonskamera for mikroretser.



En av de fire hybridkretsene som inngikk i mikroprosessorsystemet MIPROC før lokket settes på. Benyttet i Penguin Mk2 Mod4 søker. Kretsen inneholder 23 integrerte brikker.



denne hefteserien). Prosessoren besto av fire tynnfilm hybridkretser som ble plassert på et kretskort som passet inn i søkeren. Hver krets hadde plass på et substrat i aluminiumoksyd, 49 x 41 mm. Substratet hadde 106 ben og fra 17-23 monolittiske brikker, som var limt til substratet. Elektrisk forbindelse til kretsmønsteret ble etablert med bondetråder av gull med 25 mikrometer diameter. Til dette fantes en spesialmaskin, og alt arbeid foregikk under mikroskop. De ferdige kretsene ble kapslet inn i nitrogenatmosfære. Også dette foregikk med spesialutstyr.

Hele hybridiseringsprosessen med så store substrater var meget komplisert og krevende, og kretsene var på den tiden blant de største og mest kompliserte tynnfilm hybridkretser som noen gang var fremstilt.

Kretsene gjennomgikk en omfattende kvalitetssikring, som ble spesifisert og overvåket av Snorre Prytz etter den amerikanske Mil standard 38510, tilpasset våre krav.

Fremstilling av detektorelementer

Renlab'en var også sterkt involvert i fremstillingen av detektorer for søkeren i Penguin. Der ble detektorelementene etsset ut fra en halvlederskive etter å ha blitt påført et fotoresistmønster i renbenken. Renbenken var viktig også her for å unngå defekter i elementets overflate. Også tynnfilmkretser for elektrisk forbindelse fra elementet til omgivelsene ble fremstilt her.

Skogen sluttet ved Avd E i 1982 for å ta over som sjef for Kontoret for fellesorganer. Siden ble fremstillingen av hybridkretser gradvis redusert, men fremstilling av mikromønstre, og aktiviteter som trengte spesielt rene omgivelser foregikk fremdeles på Renlab'en. Det var særlig Ragnar Kristiansen og Ulv Skafle fra detektorgruppa som betjente laboratoriet.



Tidligere utgitt i denne serien

1. Om FFIs etablering på Kjeller og utviklingen fram til 1996
2. Terne – et anti ubåtvåpen
3. Datateknologi
4. Radiolinjer
5. Virkninger av kjernevåpen
6. Spredning av stridsgasser
Kamuflasje
7. Ildledning og navigasjon
8. Luftvern og sårbarhet av flystasjoner
Olje, gass og norsk sikkerhet
9. Bildebehandling og mønstergjenkjenning

