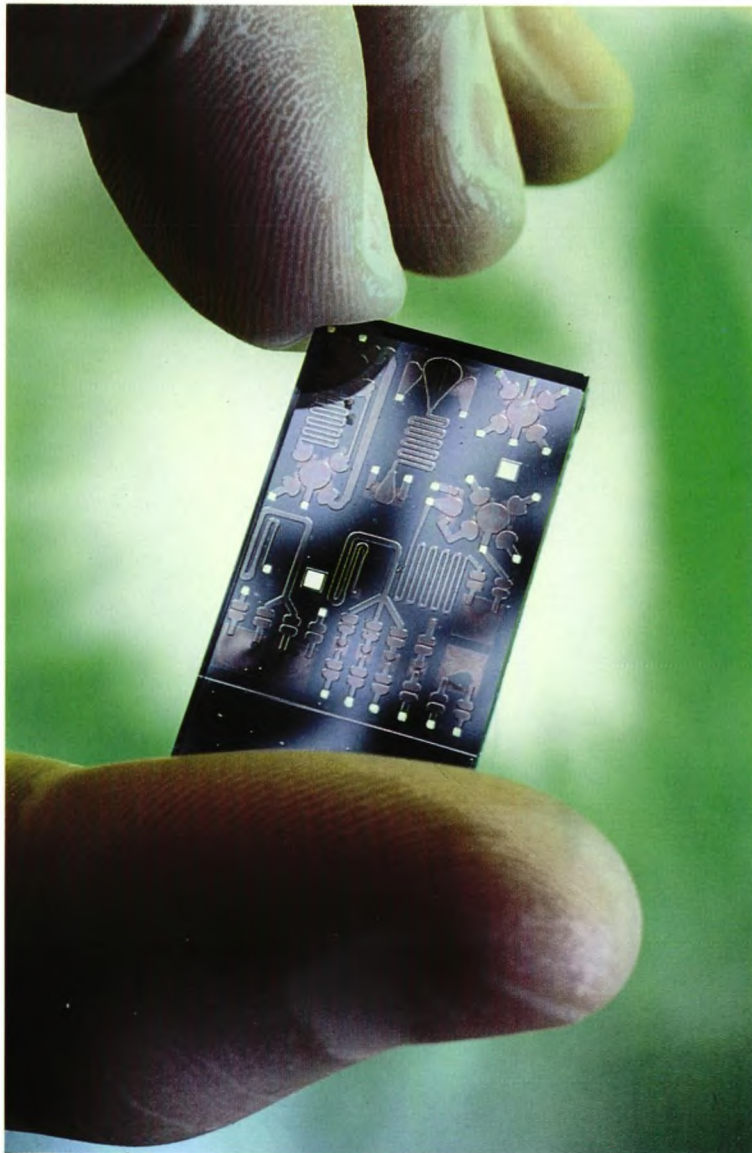


KVANT December 1995 4

Fysisk Tidsskrift

6. årgang



- NOBELPRISEN 1995 • MARS' MAGNETISME • MIKROMEKANIK •
- LYSHASTIGHEDEN OG RØMER •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

c/o Ørsted Laboratoriet
Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Telefax : 35 32 04 60
E-mail : kvant@nbivax.nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab



Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Mads Hammerich (ansv.)
Rungsted Gymnasium
Jørgen Friis Bak
Naturvidenskabeligt fakultet, ÅU
Jørn Christiansen
Torsten Freltoft (annoncer)
NKT Research Centre
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

KVANT udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år (i Danmark).

Annoncepriser

1/1 side	3000 kr
1/2 side	1600 kr
1/4 side	1000 kr
Farvetillæg	1800 kr

Priserne er excl. moms og gælder for reproklart materiale. Henvendelser om annoncer til Torsten Freltoft, NKT Research Centre, telefon 43 48 35 69, telefax 43 63 00 99.

Oplag: 2000

Tryk: P.J.Schmidt, Vojens
ISSN 0905-8893

Indhold:

Lyshastigheden og Rømer

Erling Poulsen 1

I anledning af at Jupiter netop har fået sin første kunstige måne, bringer vi denne redegørelse for Ole Rømers opdagelse af "lysets tøven". Var det lysets hastighed der blev opdaget? Eller kræver dette at hastigheden angives i jordiske mål?

Mars's magnetisme.

Mads Hammerich 4 og bagsiden

Et uhyre simpelt dansk eksperiment, har fået plads på en NASA mission til Mars. Et af instrumenterne skal tiltrække luftbåret støv. Derved håber man at kunne samle vigtige brikker af vandets historie på Mars.

Nobelprisen i fysik 1995

Peter H. Hansen 5

Leptonerne slog til igen! Alle 5 fundne ud af 6 leptoner har nu givet en nobelpris. Forfatteren ridser modtagernes eksperimenter op.

Meddelelser fra DFS

DFS 9

Opstilling til valg, Indkaldelse til årsmøde, rejselegater, priser til unge russere.

Mikromekanik

Jesper Bay 15

Er vi ved at forlade jernalderen og gå ind i siliciumalderen? Der er næppe rigtigt, men i fremtiden vil en væsentlig del af den mekanik vi omgiver os med være integreret ned på et stykke silicium. Jesper Bay fortæller om procesteknikken og viser designet af en mikromekanisk mikrofon.

MHΔEN 'ΑΓΑΝ – Alt med måde.

Mogens Esrom Larsen 23

Måske er det ikke blot livsvisdom at undgå yderligheder, men en livsnødvendighed, som livet er indrettet til og umiddelbart indretter sin omverden efter. Mogens Esrom Larsen omtaler matematikken bag James Lovelocks teori om Gaia – livets indretning af sit levemiljø på Jorden.

Forsiden:

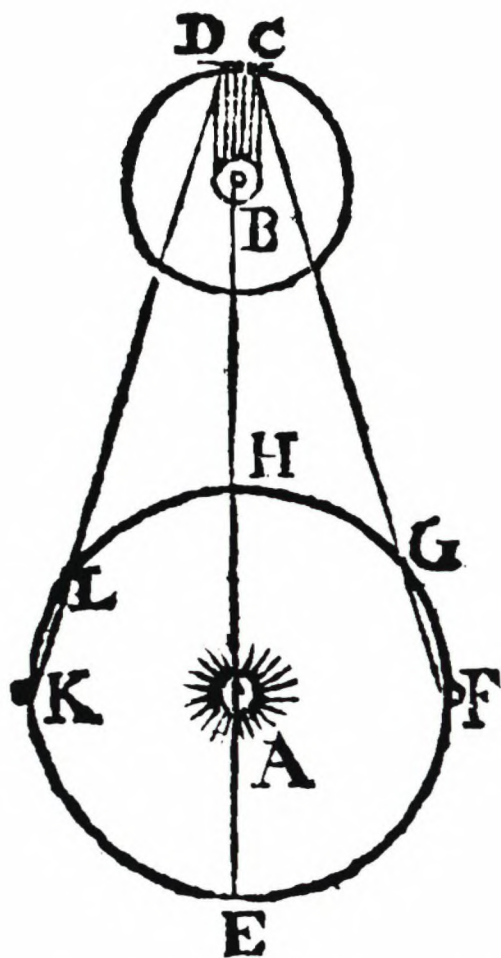
Mikromekanik! Her en del af et system der integrerer pumper, ventiler, reaktionskamre og sensorer på et enkelt stykke silicium. Læs artiklen side 15.

Bagsiden:

Støvede magneter. Endnu står de på Jorden. Men snart skal de sendes til Mars for at rapportere om marsstøvets magnetiske egenskaber. Måske kan de besvare spørgsmål om historien af flydende vand på Mars.

Lyshastigheden og Rømer

Erling Poulsen, Rundetårn.



Figur 1. Billedet af solsystemet fra den korte artikel i *Journal des Sçavans* fra 1676, der omtaler Rømers opdagelse af lysets tøven. A er Solen, EFGHL er jordbanen, B er Jupiter med skygge og D er dér hvor månen Io træder ud af skyggen. Hvis vi siger, at Io's fremtræden ses når Jorden er i L, så vil næste fremtræden ske cirka 421/2 time senere (beregnet ud fra omløbstiden og Jupiters bevægelse i banen), men i den tid har Jorden flyttet sig til K og forudsat at lyset har en endelig hastighed, vil man se månens tilsynekomst lidt for sent.

Einsteinartiklen i "Annalen der Physik" fra 1905, hvor Den Specielle Relativitetsteori blev offentliggjort, har givet lyshastigheden langt større betydning, end den havde tidligere. I dag er lyshastigheden en af de fundamentale naturkonstanter, og det vigtige længdemål, meteren, bliver nu defineret ved hjælp af denne.

Rømer har tit fået æren for at have opdaget lyshastigheden. I det følgende gøres der rede for, at det ikke er helt korrekt. Rømer anfører ingen steder en hastighed (udtrykt med "jordiske" mål); hans opdagelse bestod i, at lyset havde en hastighed: det tøvede. I slutningen af 1600-

årene tilsluttede de fleste videnskabsmænd sig Descartes' teori for lys, hvorefter det skulle udbrede sig uendeligt hurtigt. I Paris, hvortil Rømer ankom i 1672, blev han indblandet i mangt og meget; af interesse i denne sammenhæng er hans målinger af lydens hastighed. Et samarbejde med Cassini opstod også, og han fik kendskab til de tabeller, som denne havde udgivet over jupitermånernes formørkelser.

Visse uregelmæssigheder ved formørkelsestidspunkterne har ganske givet vakt hans interesse, og han gik ind i arbejdet med jupiterobservationer. Man forsøgte at forklare de uregelmæssige formørkelser på flere måder, men det store gennembrud kom i 1676, hvor Rømer konstaterede, at uregelmæssighederne ene og alene skyldtes Jordens og Jupiters relative afstand i Solsystemet. Cassini meddelte det Kongelige Franske Videnskabernes Selskab, at uregelmæssighederne kunne forklares, hvis man forudsatte, at lyset havde en hastighed; dette skete i august 1676.

I begyndelsen af september samme år meddelte Rømer på grundlag af sine observationer, hvor stor forsinkelse (10 minutter, beregnet ud fra en formørkelse af Io den 23. august), i forhold til eksisterende efemerider (tabeller med astronomiske forudsigelser), en formørkelse den 9. november ville have. Observationen af denne formørkelse bekræftede Rømers forudsigelse. Han forelagde sin opdagelse for det Kongelige Franske Videnskabernes Selskab den 21. november 1676, og den 7. december blev meddelelsen bragt i "Journal des Sçavans". Her berettedes dels om formørkelsen den 9. november, og dels at det tager lyset 22 minutter at bevæge sig over en jordbanediameter. Nu gik 7 måneder, før der for alvor skete noget igen, dvs. tiden gik med voldsomme diskussioner, især mellem Rømer og Cassini, som fra nu af og resten af livet støttede Descartes' teori om den uendelige lyshastighed.

Den 25. juli 1677 nævnes Rømers opdagelse i det engelsksprogede tidsskrift "Philosophical Transactions", Vol. XII, no. 136. I Holland arbejdede Huygens med sin bølgeteori for lys. I den havde han brug for en lyshastighed, bare tænk på hvad der ville ske med bølgeformlen: Frekvens gange bølgelængde = hastigheden - enten måtte frekvensen eller bølgelængden være uendeligt stor, hvilket er uden mening. Han læste den 16. september (1677) i det engelske tidsskrift meddelelsen om Rømers opdagelse og sendte kort efter et brev til Rømer, hvori han bad om nærmere oplysninger.

I 1678 præsenterede Huygens sin "Traité de Lumière" for det Kongelige Franske Videnskabernes Selskab. I den bruges jordbanens diameter (den værdi, han brugte, var 24000 jorddiametre) og Rømers tid for lysets gennemløb

af en jordbanediameter til at udregne lyshastigheden; han fik 16 jorddiameter pr. sekund. Han udtrykte også hastigheden som mere end 600.000 gange lydens. **Han var den første, der satte jordisk mål på lyshastigheden!** I begyndelsen af 1680 holdt Robert Hooke i London en række berømte foredrag, "Lectures of Light". I dem kritiserede han Rømers opdagelse og fastholdt, at lyset udbreder sig instantant. I dag virker hans argumenter måske lidt pudsige, men også tidstypiske; de lyder som følger:

" 'tis so exceeding swift that 'tis beyond Imagination; for so far he thinks indubitable, that it moves a Space equal to the Diameter of the Earth, or near 8000 miles, in less than one single Second of the time, which is in as short time as one can well pronounce 1, 2, 3, 4: And if so, why not be as well instantaneous I know no reason..."

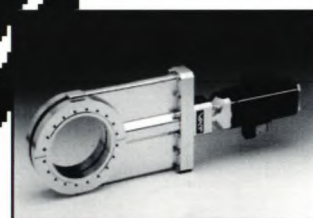
I 1686 kom 1. udgaven af Newtons berømte bog "Principia", i hvilken han nævner Rømers 22 minutter for lysets gennemløb af jordbanediameteren. Huygens udgav i 1690 sin "Traité de Lumière" i Paris. I 1704 udgav Newton sin bog "Opticks". Her var lyset lige pludselig 8 minutter om at bevæge sig fra Solen til Jorden, $\frac{1}{2}$ jordbanediameter. Rømer har i "Adversaria" en bemærkning fra året 1706 (Kirstine Meyers udgave, 1910, s. 4), hvor han stiller sig undrende over for den af Newton angivne værdi. Newton havde kendskab til de målinger over jupitermånerne, der var offentliggjort i "Journal des Sçavans". Han kan have fundet sin nye værdi på følgende måde: Man tager de 10 minutter, som Rømer forudså, at formørkelsen i 1676 var forsinket med og afstandsførelsen mellem Jorden og Jupiter (udtrykt i jordbaneradier) fra den 23. august 1676 til den 9. november 1676 fra de Rudolfske Tavler. Ud fra de to tal kan udregnes, at det tager lyset $8\frac{1}{2}$ minut at komme fra Solen til Jorden. I 1713 brugte Newton igen de 8 minutter i 2. udgaven af "Principia" - og efter ham alle andre. Først i 1849 lykkes det for de to franske fysikere Fizeau og Foucault efter forslag fra Wheatstone, Arago og Bessel at måle lyshastigheden med et apparat opstillet her på Jorden. Fizeau informerede det Kongelige Franske Videnskabernes Selskab om målingen den 23. juli 1849. Under kejser Rudolf d. 2. begyndte Kepler et større arbejde med at udregne nye efemerider for planeterne, de udkom i 1620'erne. Det var en genudgivelse fra 1660'erne Rømer benyttede. Jupitermåneformørkelserne, som Rømer brugte til sin beregning af lysets tøven, afhænger selvfølgelig af månerne omløbstider; de er ikke konstante fordi månerne gensidigt påvirker hinanden. Det betød, at han havde vanskeligt ved at finde værdien for lysets tøven udfra sine observationer, faktisk opererer han udover de nævnte værdier også med 12 minutter for lysets gennemløb af en jordbaneradie.



Erling Poulsen er observator på Rundetårn og står for tårnets skoletjeneste. Han har i mange år beskæftiget sig med astronomi og videnskabshistorie og har lavet udstillinger om dette emne i Rundetårn, på Ole Rømer museet og på Tycho Brahe Planetariet.

VAT
VAT Vakuumventile AG

Førende indenfor vakuumventiler



Størrelser fra DN 16 til DN 400
Certificeret ISO 9001

For mere detaljeret information spørg efter katalog "VAT vakuumventiler".

Repræsenteret af:
Balzers-Pfeiffer Scandinavia, tlf. 39 68 32 61
Baunegårdsvej 7L, 2820 Gentofte

Complete Optical Answers



Optics is providing the answers for many of today's new technologies and applications. Melles Griot's Application Engineers are trained to help you find those answers with our versatile range of optical tools. Answers that translate into working, valuable, real-life products.

Our carefully specified range of optical components — lasers, opto-mechanical hardware, and instrumentation; plus our complete line of optical tables, breadboards, and workstations — are all designed

to work together, with metric and inch systems equally supported.

All components are integrated into a versatile family of optics and support equipment designed with your requirements in mind.

From small-scale, non-linear devices to high performance imaging systems, from the infrared to the near UV, our products provide the reliable quality and dependable performance that you can rely on.

For the OEM we provide large volumes of custom components and sub-systems optimized for your specific needs — with major North American, Asian and European optical fabrication and coating facilities for worldwide support.

Warehouses around the world provide prompt shipment of our standard products and our toll free telephone makes us easy to reach. Just part of the reason why Melles Griot should be your source for complete optical answers.

MELLES GRIOT

OPTICS • LASERS • RESEARCH EQUIPMENT

MELLES GRIOT DANMARK
Stenagervej 13
DK-4100 RINGSTED

Phone +45 53 61 50 49
Fax. +45 53 61 60 49

Mars' magnetisme.

Mads Hammerich, Redaktør

Det kan synes luksuriøst at ofre mange års arbejde og store summer for at få nogle permanente magneter land-sat på Mars. Det er det der er ved at lykkes for en lille forskergruppe ved Niels Bohr Institutet. Magneterne er med på de amerikanske pathfinder sonder. På Mars skal de eksponeres for de marsianske vinde og vil tiltrække magnetisk støv. De støvbelagte magneter vil blive fotograferede og billederne sendt tilbage til Jorden. Disse billeder er de primære data fra eksperimentet.

Formålet med studier af Mars

NASA, som udfører pathfinder missionen til Mars, har defineret nedenstående retningslinier for udforskningen af Mars. Fællesnævneren for mange af undersøgelserne er studiet af vand på Mars. Liv som vi kender det, kræver tilstedeværelse af flydende vand, så alene af denne grund er det interessant at undersøge om der har været flydende vand på Mars. Men også studiet af klimaændringer og eftersøgningen af ressourcer på Mars er voldsomt influeret af om der har været vådt vand deroppe.

Det er i denne sammenhæng magneteksperimenterne skal ses. Vi ved at der findes masser af jern i overfladen af Mars. Det er jern i tredje oxidationstrin der giver anledning til Mars' karakteristiske røde farve. Vi ved også at der er magnetisk støv på Mars. Viking sonderne havde magneter med, der straks blev mættede med støv. Vi ved endelig fra optiske undersøgelser foretaget fra Jorden, at en del af jernet forekommer i meget små såkaldte nanokrystaller, men at der også optræder større magnetiske krystaller. Endelig ved vi, at jerns kemi er voldsomt påvirket af til-

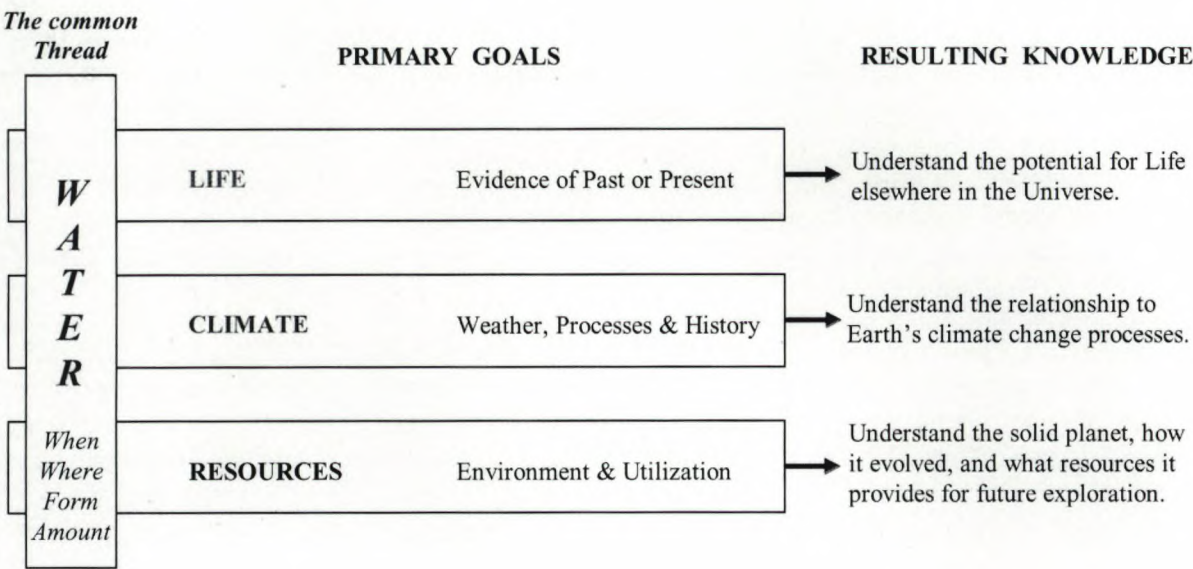
stedeværelsen af vand, ilt og kuldioxid.

Magnetarray eksperimentet

Historien om de mulige processer på Mars der kan have dannet forskellige magnetiske krystaller, er for lang til at blive fortalt her. Det der er afgørende er, at man vil kunne skelne mellem scenarier med flydende vand og scenarier uden, ved at få oplysninger om mætningsmagnetiseringen og farven af det støv der sætter sig på magneterne. Eksperimentet består af et sæt på fem magneter, der er nedfældede i to magnesiumplader. Magnetfeltstyrken på overfladen af pladerne varierer cirka 30 gange fra den stærkeste til den svageste magnet. De svageste magneter er betydeligt svagere end dem Viking sonderne medbragte. Magneterne vil blive fotograferede gennem 9 filtre i det synlige og nærinfrarøde spektralområde. Håbet er at blive istand til at sige hvilket mineral, der er det fremherskende i den magnetiske del af støvet på overfladen af Mars.

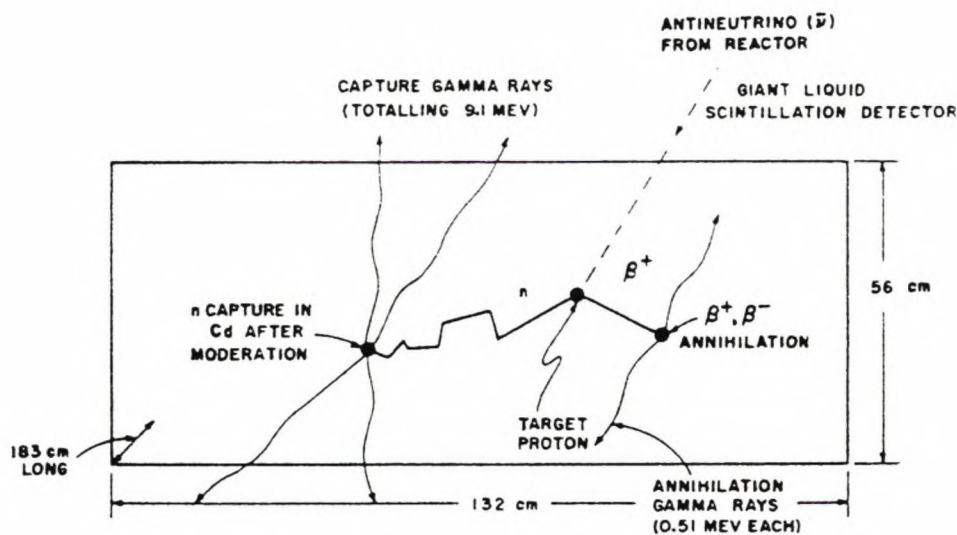
Er dette nu realistisk? For at demonstrere dette, viser vi på bagsiden resultatet af et forsøg hvor magnetarrayet er blevet udsat for støv af forskellige mineraler. Magneterne er ordnet i styrke så den stærkeste sidder længst til højre i billedet. Billederne ser lidt uskarpe ud. Det er med vilje. Opløsningen er reduceret til de 15 pixels/18 mm som kameraet vil sende hjem. På baggrund af dette og lignende billeder mener man at der er gode chancer for at kunne drage konklusioner om den magnetiske fases mineralogi.

Marsmagnetismegruppen ved Niels Bohr Institutet består af Jens Martin Knudsen, Stubbe Faurschou Hviid, Haraldur Páll Gunnlaugsson, Walter Goetz, Poul Lund, Johannes Madsen, Lise Vistisen og Malte Olsen.



Nobelprisen i fysik 1995

Peter Hansen, Niels Bohr Institutet, Blegdamsvej 17, 2100 Kbh. Ø



Figur 1. skematisk diagram over Reines og Cowans eksperiment. Den stiplede linie foroven angiver antineutrinoen fra Savannah River reaktoren. Antineutrinoen omdanner en proton til en neutron og en positron. Positronen finder straks en elektron og annihilerer. Dette giver øjeblikkelig anledning til to gammastråler der detekteres i scintillatoren. Efter et karakteristisk tidsrum indfanges neutronen af en cadmiumkerne, som også udsender en gammastråle. Detektoren er omgivet af en ydre scintillator. Det er serien af lysglimt fra scintillatoren sammen med fravær af signaler fra den ydre scintillator, der er det karakteristiske fingeraftryk af reaktionen.

Nobelprisen i fysik blev i år givet til Fred Reines for den direkte påvisning af *neutrinoen* (mere præcist anti-neutrinoen), og til Martin Perl for opdagelsen af τ -leptonen. Hermed har Nobelkomiteen belønnet opdagelsen af hver af de fem kendte partikler i de tre kendte lepton-dubletter (e, ν_e), (μ, ν_μ) og (τ, ν_τ), startende med Thomson's opdagelse af elektronen, e , i 1897. Den τ -agtige neutrino, ν_τ , er endnu ikke set, så her venter måske endnu en nobelpris.

Alle disse partikler er *elementære fermioner*, dvs. punktformige partikler med spin $1/2$. Neutrinoerne har i modsætning til elektronen og dens tungere søstre ingen elektrisk ladning. Navnet "lepton" er afledt fra det græske ord for "svag" og hentyder til, at leptoner ikke føler den stærke kernekraft. Neutrinoen føler kun den *svage* kraft. Navnet illustreres f.eks. ved, at selvom vi rammes af tusind milliarder neutrinoer fra solens fusionsprocesser hvert sekund, så går der årevis mellem to reaktioner med en af kroppens mange atomkerner.

I 1930 foreslog Pauli eksistensen af en ny 'usynlig' partikel, en neutrino, for at forklare hvorfor elektroner udsendes fra radioaktive kerner med variabel energi. Kalorimetermålinger bekræftede at energiregnskabet i de radioaktive β -henfald ikke går op: noget 'usynligt' må bortføre noget af den kinetiske energi i sønderfaldet. Efter at Chadwick havde opdaget neutronen, n , foreslog Fermi

en teori for β -henfald, hvor den fundamentale proces var

$$n \rightarrow p e \bar{\nu} \quad (1)$$

Først i 1958 blev neutrinoen direkte set af Fred Reines og Clyde Cowan. De havde først i tankerne at bruge en brintbombe, der jo frembringer fusionsprocesser, men fandt at det nok var enklere at bruge en reaktor, hvor de radioaktive fissionsprodukter giver en fluks af (anti-)neutrinoer fra processen (1). En stor tank med flydende scintillator blandet op med cadmium blev bygget nær ved Savannah River reaktoren i USA, vel afskærmet fra anden stråling. opstillingen er skitseret i figur 1. Neutrinoerne reagerer af og til med en proton

$$\bar{\nu} p \rightarrow n e^+ \quad (2)$$

Her har vi altså vendt pilen i reaktion (1) og flyttet elektronen over på den anden side. Nedbremsningen og den efterfølgende annihilation af positronen giver et lysglimt i scintillatormaterialet, der registreres af fotomultiplikatorer. Efter et karakteristisk tidsinterval er neutronen tilstrækkeligt nedbremset til at blive fanget ind af en cadmiumkerne, hvilket også giver anledning til et lysglimt. Sammenfaldet af sådanne to signaler (i fravær af signaler i noget omgivende scintillator uden cadmium) var et sikkert tegn på neutrinoreaktioner.

Glance up to surface science

New wallchart from VG lists key data

Put an end to searching through books and hunting for data with the new surface science wallchart from **Vacuum Generators (VG)**.

The VG wallchart lists vital information such as electron binding energies, material properties and residual gas analysis (RGA) cracking patterns, all key information used on a daily basis by surface scientists and vacuum technologists.

For a free copy of the VG wallchart please contact Kennet Joelsson at
Fisons Instruments Nordic AB

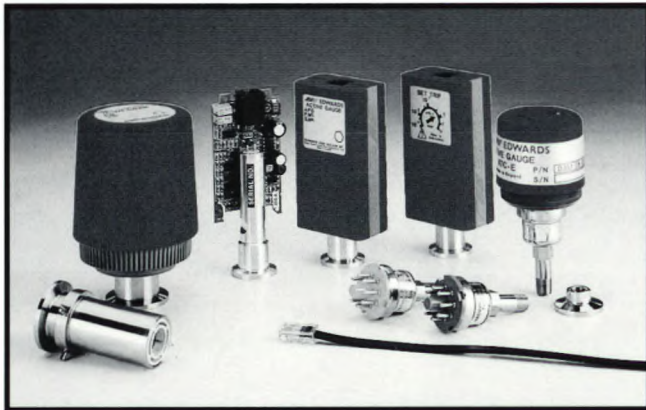
Gårdsfogdevägen 16

S-161 70 BROMMA

tel. +46 (0)8-629 24 00, fax +46(0)8-627 52 20.

or email: kennet.joelsson@fisons-instruments.se

FISONS
Instruments



Active gauges er et nyt koncept til vakuummåling. Målehovedet indeholder hele elektronikken til måleudstyret og kræver derfor kun en standard DC strømforsyning. Udgangssignalet er 0 - 10V DC. Udlæsningen kan foregå på et almindeligt måleinstrument, PLC eller på en computer. Derved er der bedre mulighed for dokumentation ved f.eks. produktionskontrol. Fordelen ved denne konstruktion er bl.a., at man ikke behøver at have målehoved og måleudstyr i nærheden af hinanden. Kabler kan leveres i længder på op til 100 meter.

Pris pr. målehoved fra kr. **2.540,-** ex. moms

 **EDWARDS**

Rotationsvakuumpumpe type RV er en ny oliepumpe, som både er en et- og to-trins pumpe, da der er mulighed for med en drejeknap at øge luftgennemstrømningen. Denne mulighed er der ingen andre vakuum-pumper på markedet der har. Pumpen leveres i 4 størrelser 3,7 - 5,8 - 9,7 - 14,2 m³/h.

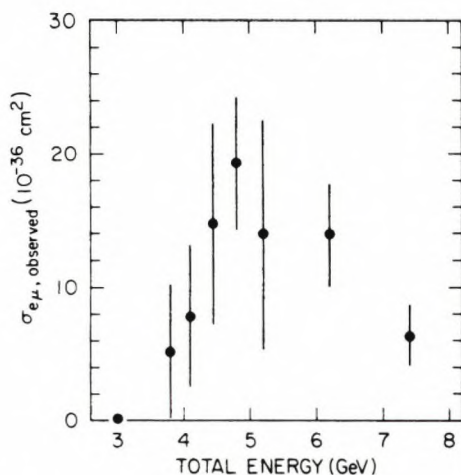
Edwards RV pumper er velegnet som kemipumpe til f.eks. geltørring, centrifugering og frysetørring. Er også velegnet til rene systemer, hvor der kræves lavt sluttryk. I laboratoriet vil man også påskønne det meget lave støjniveau på kun 48 dBA.



Buch & Holm A/S

Marielundvej 36 - 2730 Herlev ☎ 42 91 75 11 Fax 44 92 31 00

Allerede før anden verdenskrig blev myon'en, μ , fundet i kosmisk stråling af Anderson og Neddermeyer, og efter krigen blev den tolket korrekt som en tung søster til elektronen (ca. 200 gange tungere). Myonen lever i ca. to mikrosekunder og henfalder så til en elektron og to neutrinoer. I 1962 var det muligt med Brookhaven at fremstille en stråle af neutrinoer med høj energi, og Lederman, Schwartz og Steinberger kunne her vise at de to neutrinoer fra myon henfalder har to forskellige identiteter. Den ene, ν_μ , optræder i forbindelse med myon produktion og den anden, ν_e , i forbindelse med elektron produktion. Da der ingen åbenlys grund er for at have en ekstra kopi af elektronen og dens neutrino, spurgte Pauli undrende: "Who ordered the myon?".



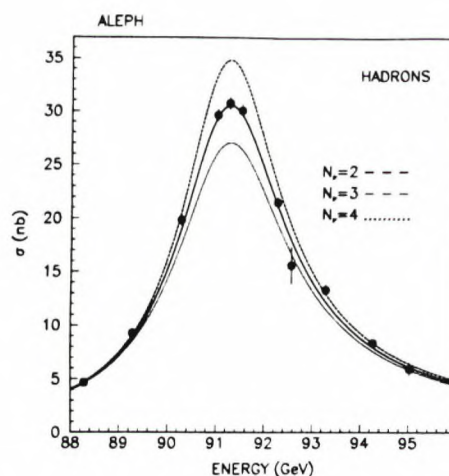
Figur 2. Det sete tværsnit for $e\mu$ begivenheder i Perls eksperiment. Læg mærke til at disse begivenheder først begynder at dukke op, når den totale energi overstiger to gange massen af τ -leptonen ($1.8 \text{ GeV}/c^2$)

Men det skulle blive mærkeligere endnu. For i 1975 opdagede Martin Perl og hans medarbejdere endnu en søster til elektronen, τ leptonen, der er hele 3400 gange tungere. Ved SLAC (Stanford Linear Accelerator Center i USA) havde man bygget en e^+e^- lagerring, hvor en elektron stråle kolliderer med en positron stråle ved høj energi. Herved opnås processer af typen:

$$e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow f\bar{f} \quad (3)$$

hvor mellemtilstanden γ^* er en 'virtuel' foton og $f\bar{f}$ er et fermion/anti-fermion par af hvilken som helst elektrisk ladet type, der energimæssigt er plads til. Men f og $\bar{f}$ er altid af indbyrdes *samme* type. Derfor var det en stor overraskelse for Perl at finde 24 begivenheder med en elektron og en myon i slutproduktet blandt 3500 reaktioner af typen (3). Endvidere manglede der synlig energi i disse begivenheder. Antallet af begivenheder som funktion af kollisionsenergien er vist i figur 2. Det måtte så være en ny lepton, som henfalder både via $\tau \rightarrow e\bar{\nu}_e\nu_\tau$ og via $\tau \rightarrow \mu\bar{\nu}_\mu\nu_\tau$ (samt mange andre kanaler). Henfaldet sker i løbet af et picosekund, men denne korte levetid skyldes

helt og holdent τ 'ens store masse. Dens vekselvirkninger er ellers nøjagtigt de samme som for myonen og elektronen.



Figur 3. Det observerede tværsnit for produktion af et quark-antiquarkpar i e^+e^- kollisioner ved energier omkring Z-bosonens masse. Kurverne er de forventede tværsnit for henholdsvis 2, 3 og 4 neutrintyper.

Der er altså tre versioner af elektronen og neutrinoen. Man kan spørge, om der skulle være endnu flere. Svaret blev givet af CERN's LEP accelerator, hvor ideen om en e^+e^- lagring er ført ud til grænsen af det mulige. Energien i sammenstødet er 91.2 GeV. Dette er energiækvivalentet til Z bosonens masse og her er sandsynligheden særligt stor for en reaktion af typen (3), men nu med Z som mellemtilstand. Her kan man også parproducere neutrinoer, så længe de har masser mindre end ca. $45 \text{ GeV}/c^2$. Masserne af de kendte neutrinoer er nul eller i hvert fald meget små. I KVANT nummer 4, 1994 har Ove Nathan redegjort for, at det observerede underskud af neutrinoer fra solen kunne tyde på, at de har en masse af størrelsesorden $10^{-2} \text{ eV}/c^2$. Derfor forventes en eventuel fjerde neutrino type også at kunne findes ved LEP. Men ingen ny neutrino er set, som vist i figur 3. Så der er sandsynligvis netop tre generationer af partikler. En mulig 'forklaring' kunne være, at netop tre generationer tilbyder en mekanisme til at skabe et overskud af stof i forhold til antistof i universet. Det gør det muligt at bryde CP symmetrien i partiklernes vekselvirkninger, en symmetri overfor en samtidig spejling og ombytning af partikler med antipartikler. Det er foreløbigt en spekulation, men eksperimenter er under forberedelse, der om få år vil give solide oplysninger.

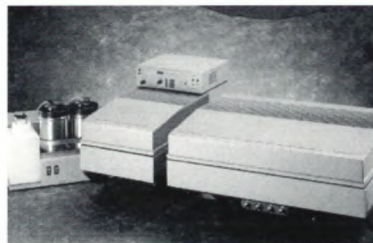
Peter H. Hansen er kandidat i fysik fra 1978. Han er lic.scient fra 1986. Har været fondsansat ved University of Michigan, CERN og Københavns Universitet. Er nu lektor ved Københavns Universitet. Her arbejder han med eksperimentel partikelfysik.

**optilas**

*Optilas Danmark, den lokale internationale
leverandør med specialer indenfor:*

Optik og lasere til forskning og industri

Continuum, Inc. - Corion Corp. - CVI Laser Corp. - Ion Laser
Technology, Inc. - Labsphere, Inc. - Laservision - Optical Surfaces



Ltd. - Physical Optics Corp.
- Research Electro Optics -
Santa Fe Laser Co. - Synrad,
Inc. - m.fl.

Spektroskopisk udstyr

Chromex, Inc. - McPherson
Milton Roy - Photek Ltd.
m.fl.



Elektronik

Directed Energy, Inc. - Maxwell Laboratories, Inc. - Quantum
Design, Inc. - Stanford Research Systems, Inc. - Trek, Inc. - m. fl.

Optilas Danmark

Billedvej 2

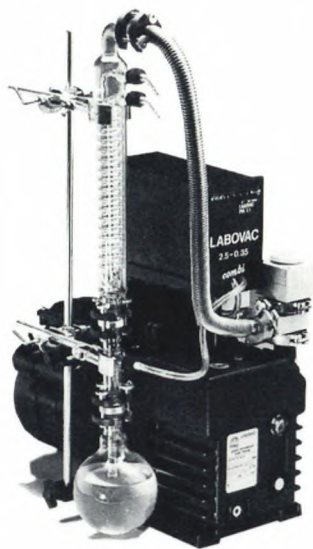
DK-2100 København Ø

Telefon: 3543 0133

Fax: 3543 8334

E-mail: optilas@inet.uni-c.dk

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



SASKIA HOCHVAKUUM- UND LABORTECHNIK GmbH I
ILMENAU er et succesrigt resultat af øst-vest genforeningen i Tyskland.
SASKIA's et- og to-trins finvakuumpumper fra 4 til 200 m³h⁻¹ har rotor-
skiver af et nyt PTFE materiale som sænker støjniveauet med ca. 3 dBA
og tillader pumperne at arbejde konstant ved højt tryk eller med aggressive
gasser. Med en frekvensregulering kan pumpehastigheden fordobles, så
man f.eks. hurtigt kan evakuere et anlæg og derefter anvende pumpen
som holdepumpe ved lav hastighed. SASKIA's kemisk resistente membran-
pumper har liniærdrevne membraner, hvilket sikrer en lang levetid og
lavt effektforbrug. En membranpumpe på ca. 30 W kan med de store
afgifter på brugsvand hurtigt tjene sig ind, hvis den erstatter en vandstråle-
pumpe. SASKIA's TOWER pumpestande er kemipumpestande kombine-
ret med kondensatorer og med instrumentering for indstilling af trykket.
SASKIA leverer oliefri pumpestande kombineret med turbomole-
kularpumper i et handy design og rootspumpestande op til 20.000 m³h⁻¹.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE
TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER •
VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLØKSØGERE &
MASSESPEKTROMETRE • SPUTTER- ELEKTRONKANON & ÆTSEANLÆG • RF & HV
STRØMFORSYNINGER • RUSTFRI SPECIALKAMRE & DELE • OMBYGNING AF VAKUUMANLÆG

WENZEL VAKUUM TEKNIK APS • NYBROVEJ 283 • DK-2800 LYNGBY • TLF. 45 87 97 35
SHOWROOM, SERVICE, LAGER • NYBROVEJ 193 • BIL 30 42 63 00 • FAX 45 93 32 93

Årsmøde 23. — 24. maj 1996

Dansk Fysisk Selskab afholder sit årsmøde 1996 på hotel Nyborg Strand i dagene 23. – 24. maj. Som de foregående år afholdes det årlige astronomimøde, arrangeret af Astronomisk Udvalg, sammen med DFS's møde. Mødet starter torsdag kl. 11 og slutter fredag kl. 17.

Årsmødet vil indeholde plenarforedrag af almen fysisk interesse samt parallelsessioner arrangeret af de faglige sektioner og Astronomisk Udvalg. Sideløbende hermed vil forskningsresultater blive præsenteret som posters, og nyt apparatur vil blive fremvist på en udstilling. Under mødet afholder DFS sin årlige generalforsamling.

Netværk for Kvinder i Fysik (KIF) afholder sit tredje årsmøde onsdag den 22. maj, ligeledes på hotel Nyborg Strand. Mødet, der starter kl. 11, omfatter faglige foredrag af kvindelige danske fysikere samt et foredrag af en udenlandsk fysiker over et mere generelt 'kvinder i fysik'-tema. Alle er velkomne til at overvære foredragene. Dagen afsluttes med et netværksmøde med udveksling af erfaring og diskussion.

Alle landets fysikere opfordres til at deltage i Dansk Fysisk Selskabs årsmøde med indlæg og posters og ikke mindst til at bidrage til en livlig diskussion. Især vil vi meget gerne give yngre forskere og forskerstuderende muligheden for at præsentere deres resultater for en bredere kreds.

Tilmeldingsfrist: **15. marts 1996.**

Program

En skitse af årsmødeprogrammet med angivelse af inviterede foredragsholdere og disses foredragstitler vil være tilgængeligt senest 1. marts 1996 på World Wide Web (på adressen: <http://carbon60.fysik.dtu.dk:8080/dfs/>). Endvidere vil det blive opslået på institutionerne, og det kan rekvireres ved henvendelse til Preben Alstrøm, helst pr. e-post; se også næste nr. af KVANT. Det endelige program sammensættes på basis af de indsendte abstracts og udsendes ca. 1. maj.

Indkvartering, priser mv.

Indkvartering foregår på hotel Nyborg Strand. Pris for mødedeltagelse, incl. evt. overnatning og diverse måltider, fremgår af hosstående tilmeldingsblanket. Rette beløb betales ved tilmelding direkte til hotel Nyborg Strand. For studerende, som ikke er indskrevet på Ph.D.-studiet, vil der være et antal fripladser; ansøgning om friplads foregår ved at afkrydse studenterrubrikken på tilmeldingsskemaet (er fripladserne brugt op, og man alligevel ønsker at deltage, opkræves betaling som for Ph.D.-studerende).

Transport

Transport til/fra Nyborg sørger deltagerne selv for. Der bliver arrangeret bustransport mellem Nyborg Station og hotel Nyborg Strand; torsdag i forbindelse med IC3-ankomsterne 10.16 og 10.25 fra henholdsvis øst og vest. Angiv venligst på tilmeldingsblanketten om der påregnes deltagelse i denne fælles bustransport.

Abstract

Abstract udformes jfr. omstående retningslinier og sendes parallelt med tilmeldingen, men til en af de fire angivne abstract-modtagere.

Sprog

Årsmødets sprog er engelsk. Deltagerne bedes erindre, at hovedparten af tilhørerne er ikke-specialister i det behandlede emne og indrette deres præsentation derefter, så alle får maksimalt udbytte af mødet.

Yderligere information

Information vedrørende det faglige program bedes indhentet hos de personer, der modtager indsendte abstracts (se nedenfor). Vedr. KIF-mødet, kontakt venligst Dorthe Posselt (adresse mv. er anført efter abstractinstruks). For andre oplysninger kan man kontakte Preben Alstrøm (adresse jfr. abstractinstruks).

Dansk Fysisk Selskab • Danish Physical Society

Retningslinier vedr. abstracts

Maximal størrelse 12 cm 10.5 cm (bredde højde).

Indsenderens navn understreges, og den fulde adresse angives.

Overhold fristen **15. marts**, DFS er ikke ansvarlig for postforsinkelser.

Kun originaler af god typografisk kvalitet, ingen fax.

Foretrukken præsentationsmåde kan angives.

Abstracts indsendes til en af følgende:

Faststoffysik	Preben Alstrøm, Niels Bohr Institutet, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø (telefon/fax: 3532 5214/3142 1016; e-post: alstrom@cats.nbi.dk)
Atomfysik	Jens Olaf Pepke Pedersen, Ørsted Laboratoriet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (e-post: jopp@amo.fys.ku.dk)
Astrofysik	Johannes Andersen, Astronomisk Observatorium, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø (e-post: ja@astro.ku.dk)
Generelt	Allan Sørensen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, 8000 Århus C (e-post: ahs@dfi.aau.dk)

Netværk for Kvinder i Fysik

Oplysninger vedrørende KIF-årsmødet kan indhentes hos:

Netværk KIF	Dorthe Posselt, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, 4000 Roskilde (telefon/fax: 4675 7781 – 2607/4675 5065; e-post: dorthe@mmf.ruc.dk)
-------------	--

Tilmeldingsblanket

DFS og KIF årsmøder 1996

Navn _____
Institut _____
Adresse _____
Telefon _____ Telefax _____
E-post _____

DFS-årsmødet 23.–24. maj 1996:

- ☐ Fuldt betalende deltager med overnatning; 1500 kr.
☐ Fuldt betalende deltager uden overnatning; 800 kr.
☐ Ph.D.-studerende med overnatning på delt to-sengsværelse; 1200 kr.
☐ Ph.D.-studerende uden overnatning; 800 kr.
☐ Studerende (ikke Ph.D.) med overnatning på delt tre-sengsværelse
☐ Studerende (ikke Ph.D.) uden overnatning

Overnatning (incl. morgenmad) gælder natten mellem torsdag og fredag. Alle registrerede mødedeltagere kan deltage i alle måltider fra torsdag middag til fredag middag (morgenmad dog kun ved overnatning).

Ph.D.- og andre studerende bor flere på samme værelse. Evt. ønske, om hvem værelse deles med, kan anføres her: _____

☐ Ønsker bustransport mellem station og hotel

Netværk for Kvinder i Fysik 22. maj 1996:

- ☐ Deltager med overnatning (incl. frokost 22/5); 685 kr.
☐ Deltager uden overnatning (incl. frokost 22/5); 160 kr.

Overnatning (incl. morgenmad) gælder natten mellem onsdag og torsdag.

Denne blanket samt betaling sendes **senest 15. marts 1996** til:

Hotel Nyborg Strand
vedr. DFS96
5800 Nyborg

Girokonto 801 9231



Læksøger på heliumbasis

Hvilke krav stilles der?

- * Hurtig
- * Nem og entydig betjening
- * Oliefri indsugning
- * Robust
- * Enkelt service
- * Prisbillig

Anvendelse:

- * Kvalitetskontrol
- * Forskning og udvikling
- * Analyseudstyr
- * Høj -og ultrahøjvakuum

Leybold ApS
Roskildevej 342A
2630 Tåstrup
Tlf.: 43996444
Fax: 43996544



Øvrige meddelelser fra selskabet

Valg til bestyrelsen og sektionerne i DFS.

I henhold til DFS's love skal der afholdes valg til bestyrelsen og sektionerne i DFS.

Valget udskrives til mandag d. 26 februar 1996. Foreslag til kandidater skal være fremsendt senest 21 dage før til valglederen: Jakob Bohr, Bygning 307, Fysisk Institut, DTU, DK-2800 Lyngby

For at være gyldig skal forslag være ledsaget af 3 medlemmers underskrifter som stillere samt af kandidatens underskrift. Alternativt, kan forslag fremsendes som sektionernes, eller bestyrelsens forslag.

På nuværende tidspunkt er der foreslået følgende personer til **bestyrelsen**:

Peter Bodin, NKT; Carsten Jacobsen, DTU; Allan H. Sørensen, Aarhus

Bestyrelsen består tillige af de kommende formænd (m/k) fra foreningens sektioner. Tillige er der på nuværende tidspunkt foreslået følgende personer til sektionerne:

Faststoffysiksektionen:

Preben Alstrøm, KU; Flemming Besenbacher, Aarhus; Dan Birkedahl, DTU; Ib Chorkendorff, DTU; Kell Mortensen, Risø; Dorthe Posselt, RUC; Paolo Sibani, Odense; Mads Peter Sørensen, DTU; Peer Tidemann-Peterson, Tele Danmark

Atomfysiksektionen:

Søren Keiding, AU; Helge Knudsen, AU; Jens Juul Rasmussen, Risø; Peter Høeg, DMI; Jens Olaf Pepke Pedersen, KU

Sektionen for Uddannelse og Undervisning:

Karin Beyer; Erik Both, DTU; Ole Goldbech; Susanne Stubgård; Poul V. Thomsen, Aarhus; Erik Oehlen-schlaeger

Netværk for kvinder holdt valg til Årsmødet med resultatet:

Anja Andersen, KDAS; Karin Beyer, IMFUFA, RUC; Eva Danielsen, KVL; Mette Grage, Risø, MIL-KER; Bodil Helt, Astronomisk Observatorium, KU; Maryanne Kmit, DMI; Trine Møgelberg, Risø, MIL-KER; Dorte Nilsson, Danmarks Lærerhøjskole; Dorthe Posselt, IMFUFA, RUC; Lise Vejby, AAU; Ellen V. Laursen, GFI, KU

Rejser for unge fysikere

Physica Scripta har gennem de sidste par år tildelt Dansk Fysisk Selskab midler til uddeling som rejselegater til unge fysikere, fx. i forbindelse med deltagelse i internationale kongresser. Unge fysikere, der er interesserede i at komme i betragtning ved uddeling af rejsepenge — og som har svært ved at finansiere rejsen fra anden side — bedes sende en ansøgning til selskabets kasserer:

Allan Sørensen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, 8000 Århus C

Pengene vil blive uddelt løbende. Det skal bemærkes, at for de ca. 8000 kr., der er tildelt DFS i 1995, er der den klausul, at den rejsende skal have publiceret i Physica Scripta i 1995.

Dansk Fysisk Selskab • Danish Physical Society

Øvrige meddelelser fra selskabet

Prisuddeling til unge fysikere fra det tidligere Sovjetunionen

Dansk Fysisk Selskab har via *Academia Europaea* medvirket til uddeling af fysikpriser til unge forskere i Rusland (1994) og i det tidligere Sovjetunionen (1995). Der er bidraget \$1000 for hver af de to seneste kalenderår, for 1994 blev bidraget i alt væsentligt dækket af de indbetalte midler under Østeuropa-indsamlingen. Resultatet af 1995-uddelingen (og DFS' rolle) kan læses af nedenstående kopi af side 6 i *Academia Europaea's* Newsletter nr. 6, September 1995:

Academia Europaea prizes for young CIS scientists

Since 1993, the Academia Europaea has awarded a series of prizes for young scientists - in 1993 and 1994 for scientists from Russia, but in 1995 extended to all the republics of the former Soviet Union. The finance for the prizes is provided by four sponsors: the International Science "Soros" Foundation of Washington, the Koch Foundation of Germany, the Rayne Foundation of Great Britain, and the Danish Physical Society. The Academia administers and supports the scheme with additional resources.

The 1995 competition was announced in newspapers during the previous autumn. One hundred and sixty three candidates submitted valid applications. The selection process was organised by a jury composed of Russian members of the Academia (I. G. Atabekov, M. O. Chudakova, S. P. Kapitsa, V. E. Khain, Y. V. Natochin, A. A. Razborov, A. E. Shilov) led by Council member Professor V. Skulachev. Using an international peer review system, the 25 best young scientists, from a range of sciences and from four CIS republics, were selected.

The awards were presented by the Academia's President, Professor Hubert Curien, at a ceremony in the Round Hall of Moscow University on 19 May 1995. The laureates received a medal, a diploma and a cash prize. Participants and visitors were given the opportunity to speak, and one proud father, himself a graduate of Moscow University, spoke movingly of the changes which had allowed such a Europe-wide event to take place. In addition to the prizewinning and speeches, the occasion included, in keeping with Russian tradition, a musical concert of the highest quality presented by one of the laureates and his student colleagues. The prizewinners were:

Biology

Armine Avetisyan (Erevan)
Dmitry Grodnitsky (Krasnoyarsk)
Alexander Kabakov (Obninsk)
Sergei Kuzmin (Moscow)
Igor Morozov (Pushchino)
Andrey Soloviev (Moscow)
Anatoly Starkov (Moscow)

Medicine

Alexander Kuzmin (St Petersburg)
Elena Menshikova (Novosibirsk)
Olga Tarasova (Moscow)

Mathematics, mechanics

Igor Guz (Kiev)
Abror Mukhitdinov (Tashkent)

Physics

Hikolay Zholonko (Cherkasy)
Vladimir Kvardakov (Moscow)
Sergei Korsunsky (Kiev)
Irina Nyrkova (Moscow)

Chemistry

Ilya Gridnev (Moscow)
Vladislav Levitsky (Moscow)
Svetlana Osintseva (Moscow)

Earth Sciences

Ismail-zadeh Ali T (Moscow)
Viktor Sharygin (Novosibirsk)

The Humanities

Vladimir Pastukhov (Moscow)
Alexander Polunov (Moscow)
Vadim Radaev (Moscow)
Konstantin Tertiskii (Moscow)

Since this prizewinning, the Russian government has announced its intention to increase its own contribution to scientific prizes by an amount equal to that provided through the Academia. The interest of the rest of Europe has therefore made a contribution to renewed support for science in Russia.

The following sponsors have contributed essential financial help to the CIS prizes scheme:

The International 'Soros' Foundation of Washington
The Robert Koch Foundation of Germany
The Rayne Foundation of London
The Danish Physical Society

A further series of prizes for young scientists from the Baltic Republics will start in autumn 1995, with financial support of Swedish sponsors and the involvement of Academia members in Sweden, led by Academia Vice-President Professor D. Magnusson.

Vice-President Nominations

It was announced during the Annual Meeting at Kraków that Professor David Magnusson would retire as a Vice-President of the Academia at the 1996 Annual Meeting. The Council intends to elect a new Vice-President at its meeting in March 1996. In accordance with the regulations of the Academia, all Ordinary Members of the Academia are invited to submit nominations. These should be sent, with the agreement of the person nominated, to the Executive Secretary at the London office to arrive by 31 December 1995.

Mikromekanik

Jesper Bay

Mikromekanik er et område i rivende udvikling og Danmark er i kraft af forskningen på Mikroelektronik Centret (MIC) og i den danske industri med i front. Denne nye teknologi åbner spændende muligheder for fremstilling af transducere og små mekaniske strukturer, og der er blevet præsenteret et væld af fascinerende komponenter som f.eks. mikromotorer og pumper. De mikromekaniske komponenter bruges til videnskabelige eksperimenter eller masseproduceres som forbrugsvarer til lavpris.

I denne artikel gives en generel introduktion til mikromekanik med nogle af projekterne på Mikroelektronik Centret som eksempler. Mere detaljeret beskrives arbejdet med at udvikle en mikromekanisk mikrofon til høreapparater på Microtronic A/S.

De første mikromekaniske komponenter blev lavet for mere end 30 år siden som en videreudvikling af den højt udviklede teknologi til fremstilling af mikroelektronik (IC'er, "chips") på skiver af enkrySTALLINSK silicium (wafere). Med små modifikationer var det muligt at fremstille mekaniske komponenter med de kendte IC-fremstillingsprocesser. Siden er der sket en voldsom udvikling inden for mikroelektronikkens fremstillingsprocesser, som direkte har kunnet overføres til mikromekanikken. Desuden er der tilføjet en række specielle processer, der gør mikromekanikken meget fleksibel.

Hvad er fordelene ved mikromekanik?

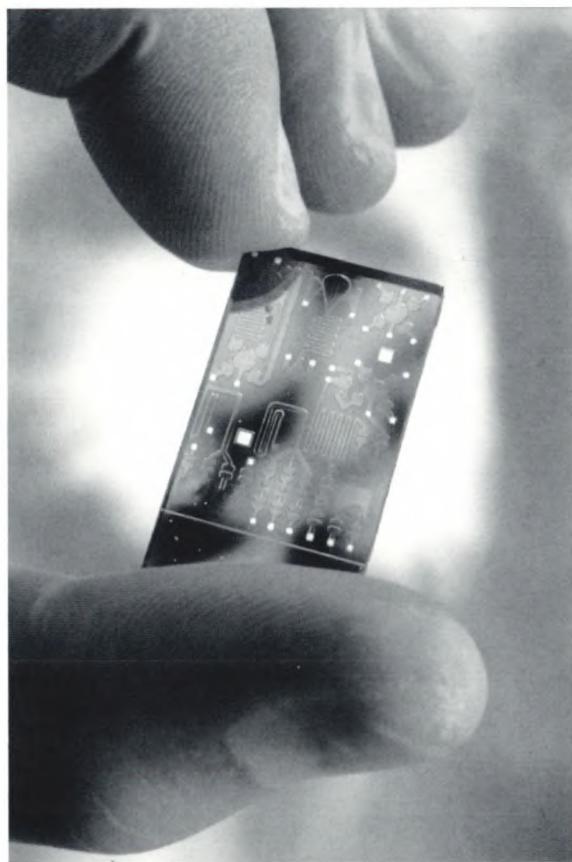
Mikromekanikken giver, som navnet siger, mulighed for at lave meget mindre strukturer med meget større præcision end traditionelle fremstillingsmetoder. De fleste dimensioner har typisk tolerancer bedre end $1\text{ }\mu\text{m}$ og tykkelsen af deponerede lag kan normalt kontrolleres langt bedre. Ikke desto mindre er der mange eksempler på mikromekaniske komponenter, der er adskillige centimeter store, og det skyldes, at det ikke kun er muligheden for at lave meget små strukturer, der er en fordel ved mikromekanikken.

Ud over, at fremstillingsprocesserne er meget raffinerede, er det enkrySTALLINSKE silicium, der bruges til IC-fremstilling og mikromekanik, et materiale med fremragende mekaniske egenskaber. Det har et højt elasticitetsmodul (dvs. det er meget stift), er stærkere end stål, lettere end aluminium og deformeres ikke plastisk.

Mikromekanik giver mulighed for fremstilling af både sensorer og aktuatorer med mange forskellige transducermekanismer, de kan f.eks. være piezoelektriske, piezoresistive, kapacitive/elektrostatisk, optiske og termiske. Det betyder, at der er stor mulighed for, at man kan vælge det optimale transducerprincip og -design.

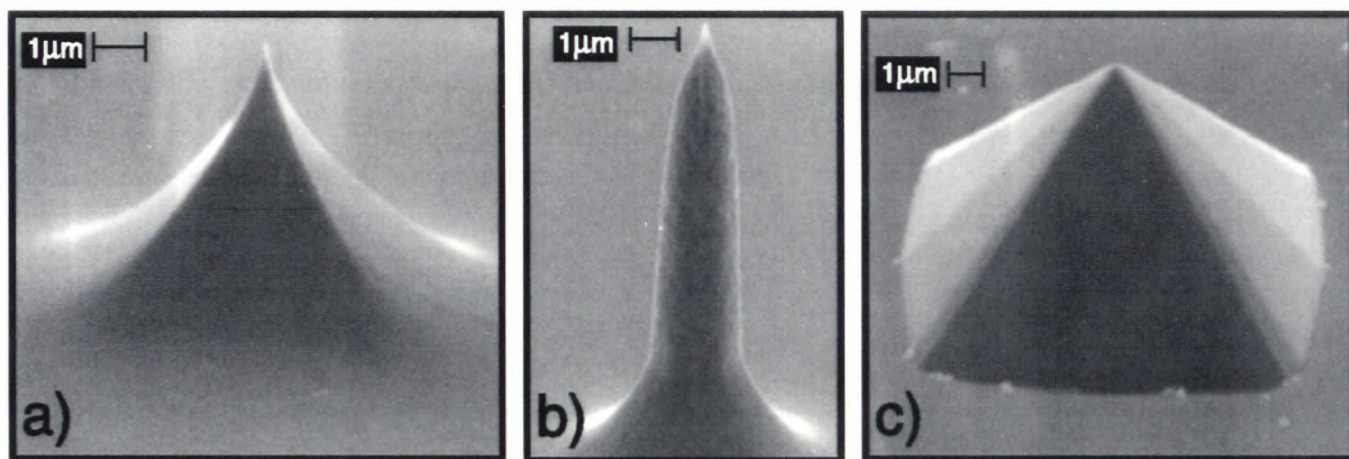
Det er muligt at integrere mange forskellige funktioner på samme chip, og man kan på den måde lave

avancerede systemer. Samtidig gør fremstillingsteknologien det simpelt at integrere elektronik. Enten kan elektronik og mikromekanik integreres på samme chip, eller også kan separate chips kombineres i multichip-moduler. Figur 1 viser et system beregnet til væskehåndtering og -analyse, som Danfoss arbejder på at udvikle. I et sådant mikrosystem kan man integrere bl.a. pumper og ventiler, filtre, blandere, reaktionskamre og forskellige sensorer til f.eks. kemisk analyse.



Figur 1. Et eksempel på et mikrosystem til væskehåndtering og -analyse under udvikling af Danfoss.

Den væsentligste årsag til industriens interesse for mikromekanik er dog nok batch-fremstillingen, hvor mange komponenter bearbejdes i én arbejdsgang. Batch-fremstillingen er arvet fra IC-fremstillingen, og den er en afgørende årsag til den meget lave pris på selv meget komplicerede integrerede kredsløb. Både elektroniske og mikromekaniske chips er meget små i forhold til størrelsen af siliciumskiverne, som de laves på. Der er derfor plads til mange på en skive, og fordi alle komponenter på en skive bearbejdes i én arbejdsgang, bliver produktionsomkostningerne reduceret væsentligt.



Figur 2. Spidser til atomic force mikroskoper lavet med forskellige ætseprocesser: a) Isotrop ætsning med en firkantet maske. b) Kombineret anisotrop og isotrop ætsning med en rund maske. c) Ætsning i KOH, som giver en spids defineret af krystallografiske planer.

Der er naturligvis også en række ulemper ved mikromekanik. Væsentligt er det, at det kræver et meget kostbart udstyr at fremstille. Derfor er det meget almindeligt, at virksomheder udvikler mikromekaniske produkter i samarbejde med universiteter, der har udstyret til rådighed.

I den senere tid er der dog flere og flere producenter af integrerede kredsløb, der også tilbyder at lave mikromekanik, oven i købet integreret med elektronik på samme chip.

Mikromekanikkens processer

De vigtigste processer er fotolitografi og forskellige deponerings- og ætseprocesser. Mange af processerne er de samme, som bruges til mikroelektronik, men især inden for ætsning og waferbonding (forklares senere) er der udviklet specielle processer, som kun bruges i mikromekanik.

Fotolitografien er den vigtigste proces, fordi den gør det muligt at definere de meget fine strukturer. En fotofølsom film ("fotoresist"), der er lagt på siliciumskiven, eksponeres gennem en glasmaske med det ønskede mønster, og efter fremkaldelse er der mønster i fotoresisten. Mønsteret overføres til en mekanisk struktur i/på siliciumskiven ved en efterfølgende ætsning, der kun angriber der, hvor skiven ikke er beskyttet af masken (fotoresisten). Mønsteret kan også overføres ved forskellige deponeringsteknikker, der kun efterlader materiale der, hvor siliciumoverfladen ikke er dækket af fotoresist.

I nogle tilfælde kan man ikke direkte bruge fotoresisten som beskyttelse ved ætsning, f.eks. hvis den angribes for meget af ætsemidlet. Man kan da bruge et hjælpelag, som mønsteret i fotoresisten overføres til ved en mildere ætsning. Derefter bruges mønsteret i hjælpelaget i stedet for fotoresisten til beskyttelse under den egentlige ætsning. Fotoresisten og eventuelle hjælpelag fjernes naturligvis tilsidst.

Deponerede tyndfilm er tynde lag af et materiale (tyndfilm) der er deponeret på siliciumskiven. De bruges i mikroelektronikken til at give elektrisk isolation, til ledningsforbindelser og til beskyttelse af overfladen. I mikromekanik bruger man også i høj grad deponerede tyndfilm, men af mange flere forskellige materialer såsom silicium, SiO_2 , SiC , Si_3N_4 , metaller, glasser og polymerer. Desuden anvendes aktive materialer som f.eks. piezoelektriske keramikker. De deponerede lag er normalt fra nogle få hundrede Å og op til mere end 10 μm tykke, og lige som silicium-grundmaterialet kan de bruges som mikromekaniske konstruktionsmaterialer.

Ætsning bruges til at lave struktur i materialerne eller til at fjerne materialer, der kun har haft en midlertidig funktion. Mest anvendt er traditionel våd kemisk ætsning og tør ætsning som plasmaætsning og reaktiv ion ætsning (RIE). Væsentligt for alle ætseprocesserne er, at de skal fjerne ét materiale selektivt uden at angribe de øvrige materialer på siliciumskiven for meget. Både de våd-kemiske ætseprocesser og RIE kan være såvel isotrope som anisotrope.

En isotrop ætseproces ætser lige hurtigt i alle retninger, og der bliver derfor ætset vandret ind under masken. I tværsnit bliver denne underætsning af form som en kvartcirkel med centrum på kanten af masken.

Anisotrope ætseprocesser kan f.eks. følge bestemte krystallografiske planer i den enkrystallinske siliciumskive eller ætse lodret ned i materialet sådan, at masken ikke bliver underætsset.

Et godt eksempel på, hvordan egenskaberne ved forskellige ætseprocesser kan udnyttes, er fremstillingen af prober til atomic force mikroskoper (AFM), som Anja Boisen fra DME A/S arbejder med i sit erhvervsforskerprojekt. Spidsen, som prøven scannes med i et AFM er meget afgørende. Den skal være meget skarp for at give et billede med høj opløsning, og spidsens facon er også meget væsentlig. Alt efter anvendelsen kan man være in-

teresseret i en meget slank spids, der kan komme ned i dybe strukturer, eller en mere robust spids, til hurtige scan eller scan af overflader med stor ruhed. Med mikromekanik kan man lave skarpe spidser med mange forskellige former, og man kan desuden samtidig integrere dem på en mikrobjælke som passer direkte til mikroskopet.

Figur 2 a) viser en spids, der er lavet ved at ætse siliciumskiven med en isotrop æts. En lille rund eller kvadratisk maske fremstillet med fotolitografi beskytter overfladen mod ætsningen der, hvor spidsen skal være. Ætsningen går ind under masken fra alle sider og ender til sidst i et punkt, når masken er helt underætsset. Masken falder så af og efterlader en spids på siliciumoverfladen.

Spidsen i figur 2 b) er lavet med en kombination af først en isotrop ætsning næsten hele vejen ind under masken derefter en lodret anisotropisk ætsning og til sidst endnu en isotrop ætsning resten af vejen ind under masken.

Spidsen i figur 2 c) er ætset i en KOH-opløsning, som ætser silicium anisotrop. Ætsehastigheden er afhængig af, hvilket krystallografisk plan der ætses, og forskellen mellem ætsehastigheden af den hurtigste og den langsomst ætsende plan er i størrelsesordenen 1000 gange. På grund af ætsehastighedens krystallografiske afhængighed kan man få en meget veldefineret pyramideformet spids, som kan gøre det lettere at fortolke AFM-billederne og samtidig er meget robust.

KOH-opløsninger anvendes meget til mikromekanik pga. den krystallografiske anisotropi og muligheden for at lave såkaldte ætsestop. Den væsentligste egenskab ved den krystallografiske anisotropi er, at ætsehastigheden for de krystallografiske $\{111\}$ -planer er praktisk talt nul. Alt efter siliciumskivens krystallografiske orientering kan dette udnyttes til ætsning af en lang række forskellige strukturer.

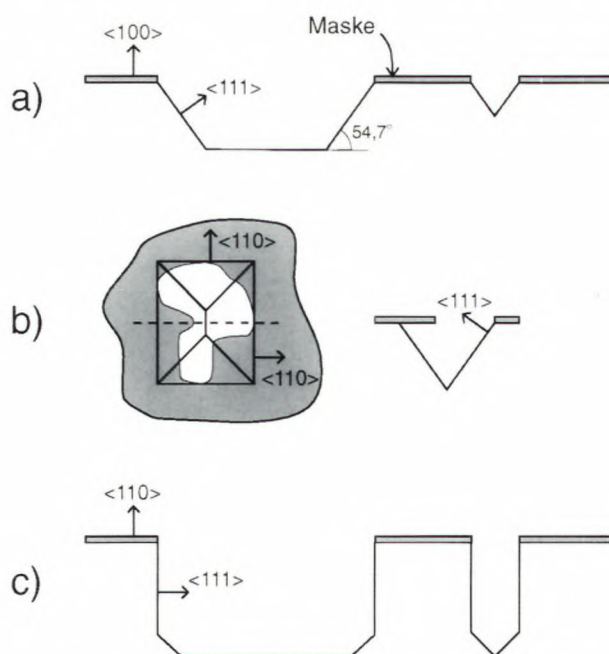
Mest benyttet er $\langle 100 \rangle$ -orienterede skiver, hvor $\{111\}$ -planerne ligger i en vinkel på $54,7^\circ$ med overfladen, se figur 3 a). ($\langle 100 \rangle$ er den krystallografiske betegnelse for en retning parallel med en af kanterne på den krystallografiske enhedskube).

$\{111\}$ -planernes skæringer med $\{100\}$ -planerne ligger vinkelret på hinanden i $\{100\}$ -planerne (dvs. også i skivens overflade). Det betyder, at hvis man ætser med KOH ned i en $\{100\}$ -overflade gennem en åbning i en maske, stopper ætsningen, når den når $\{111\}$ -planerne (figur 3 b)). På grund af $\{111\}$ -planernes indbyrdes placering, vil man, hvis man ætser længe nok, ende med et rektangulært pyramideformet hul, uanset hvad form åbningen i masken har. Hullet er defineret ved, at åbningen i masken netop er indskrevet i pyramidens grundflade.

I en $\{110\}$ -orienteret siliciumskive ligger $\{111\}$ -planerne vinkelret på overfladen, og man kan derfor ætse fuldstændig lodret ned i skiven (figur 3 c)). Dette er udnyttet i accelerometret vist i figur 4, som Torben Storgaard-Larsen fra Brüel & Kjær har udviklet i sit erhvervsforskerprojekt. Som det ses på billedet, bliver de resulterende strukturer rhombiske pga. $\{111\}$ -planernes indbyrdes orientering.

En vigtig anvendelse af KOH er fremstilling af mem-

braner ved at ætse igennem siliciumskiverne. Man kan ganske enkelt ætse ned i siliciumskiven indtil den ønskede tykkelse er nået, men dette kan kun gøres med relativt tykke membraner – typisk $10\ \mu\text{m}$ – pga. variationer i skivens tykkelse og problemer med at stoppe ætsningen på det rette tidspunkt.



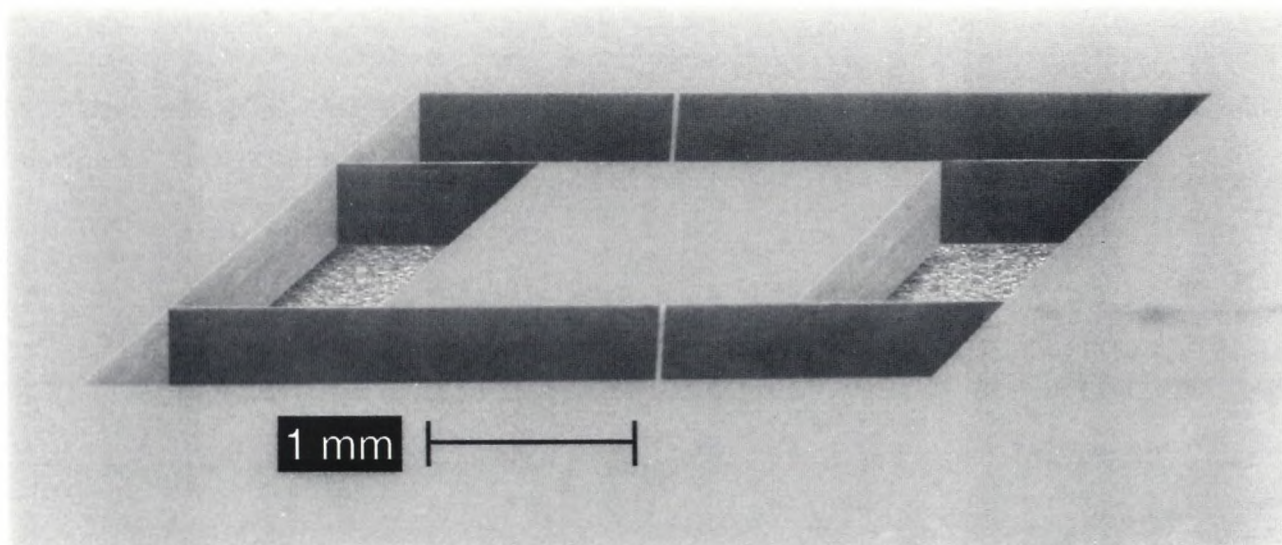
Figur 3. Ætsning med KOH: a) ætsning i en $\langle 100 \rangle$ -orienteret wafer, b) ætsning i en $\langle 100 \rangle$ -orienteret wafer igennem en uregelmæssig åbning i masken, og til højre et tværsnit af det resulterende rektangulære pyramideformede hul, c) ætsning i en $\langle 110 \rangle$ -orienteret wafer.

Tyndere membraner kan laves meget velkontrolleret ved forskellige ætsestop-teknikker. Man kan f.eks. dotere den ene side af siliciumskiven med en høj koncentration af bor i den tykkelse som membranen skal have og udnytte, at KOH ætser udoteret silicium meget hurtigere end silicium med en høj borkoncentration. Man ætser så fra den anden side af skiven og ætsningen stopper automatisk når det bordoterede lag nås. Med denne teknik kan man ætse igennem en $500\ \mu\text{m}$ tyk siliciumskive og stoppe når et $1\ \mu\text{m}$ tykt bordoteret lag er tilbage.

En endnu bedre standsning af ætsningen opnås ved at påtrykke en potentialforskil mellem æteopløsningen og siliciumskiven. Ætsningen går så i stå ved overgangen fra p- til n-type doteret silicium. Man kan også ætse hele vejen igennem siliciumskiven ned til et lag, der ikke angribes af KOH som f.eks. Si_3N_4 , der er deponeret på den anden side af skiven, og som så bliver en fri membran.

Ved at dotere i et ønsket mønster eller ved efterfølgende at ætse et mønster i membranen, kan man lave f.eks. bjælker og dyser.

Waferbonding: Det kan lade sig gøre at lave meget komplicerede strukturer i en siliciumskive, men fleksibiliteten bliver meget større, hvis funktionerne deles over to eller flere skiver. Det kræver, at man kan samle (bonde) to skiver og evt. lave elektriske forbindelser mellem dem.



Figur 4. Accelerometer lavet med KOH-ætsning i $\langle 110 \rangle$ -silicium. Udlæsning sker optisk vha. den integrerede optiske bølgeleder midt i billedet.

Den første bondeproces (Udtales med tryk på -de, *red.*) der blev udviklet, var elektrostatiske bonding af en siliciumskive og en glasskive. Det er nemlig meget simpelt at lave en overordentlig stærk binding mellem en glasskive og en siliciumskive (eller en anden leder). Skiverne anbringes oven på hinanden og opvarmes. Herefter påtrykkes der en stor spændingsforskel mellem siliciumskiven og underlaget, som glasskiven ligger på, hvorved de to skiver bondes sammen. Dette er udnyttet i mikrosystemet i figur 1, hvor væskekanalerne er ætset ned i en glasplade, og de aktive strukturer som ventiler og pumper hovedsageligt ligger i siliciumskiven.

De mange forskellige processer kan kombineres på utallige måder. Man skelner grundlæggende mellem "**surface micromachining**" og "**bulk micromachining**".

Ved surface micromachining ("overflade-mikromekanik") bruges siliciumskiven som bærende substrat, og de ønskede strukturer opbygges af lag, der deponeres oven på skiven. Meget anvendt i surface micromachining er såkaldte offerlag, som bruges, hvor der skal være "luft" under en struktur, der opbygges på silicium skiven. Da det ikke er muligt at deponere et materiale frit svævende over skiven, deponeres først et passende offerlag med en tykkelse svarende til den ønskede luftspalte. Derefter deponeres og ætzes den "frit svævende" struktur og til sidst fjernes offerlaget så strukturen frigøres.

I bulk micromachining ("substrat-mikromekanik") laves mikromekaniske strukturer ved at man arbejder sig ned i siliciumskiven og fjerner materiale sådan, at den ønskede struktur bliver tilbage. Et eksempel på bulk micromachining er accelerometeret i figur 4.

Man bruger ofte en kombination af de to teknikker. Komponenten i figur 5 er lavet ved, at der i et deponeret SiO_2 -lag er ætset et mønster. Derefter er SiO_2 -

strukturene frigjort ved at ætse det underliggende siliciumsubstrat isotropt hele vejen ind under dem undtagen i en række punkter, hvor de skal være forankret.

Indkapsling

De fleste mikromekaniske komponenter kræver en form for indpakning for at beskytte dem mod det omgivende miljø og gøre dem mere robuste. Indtil nu har man næsten altid lavet indkapslingen med traditionel teknologi på chipniveau, og man har altså ikke kunnet udnytte batch-fremstillingens fordele. Derfor har indkapslingen ofte været ti gange dyrere end fremstillingen af selve den mikromekaniske chip.

Det kan godt lade sig gøre at lave en mikromekanisk chip, der er beskyttet. F.eks. kan flere skiver bondes sammen mod hinanden sådan, at de følsomme strukturer kommer til at ligge indkapslet imellem skiverne. Nogle komponenter laves på denne måde med en siliciumskive og en eller to glasskiver, men de kræver stadig en ekstra indpakning. Det skyldes dels, at de ikke har elektronik integreret, og dels, at den elektriske forbindelse til omverdenen sker med wirebonding, hvor det normalt er krævet, at man kan bruge lodning. Derfor ser man mange komponenter, hvor en mikromekanisk chip og en elektronisk chip er anbragt ved siden af hinanden i en pakning svarende til dem, der bruges til almindelige IC'er. De to chips er så forbundet med hinanden og med pakningens loddeterminaler ved brug af wirebonding.

For at bringe prisen ned er det altså meget vigtigt at lave indkapsling og elektriske forbindelser på wafer-niveau. Det er bare et spørgsmål om tid, før de første komponenter med elektronik og indkapsling integreret på wafer-niveau er en realitet.

FRA VORT STORE PROGRAM

VARIAN

Turbopumper
Ionpumper
Oliediffusionspumper
Læksøgere
Vacuum måleudstyr
UHV & HV fittings

DCA Instruments

Fremstilling af UHV anlæg til:
Sputterprocesser
MBE
Tyndfilm deponering
Overfladeanalyse
samt kundespecificeret UHV kamre

Lake Shore Cryotronics

Lavtemperatur kontrollere
& sensorer
Elektromagneter & strømforsyninger
Gaussmetre & Hall elementer
VSM (vibrating sample magnetometer)
AC/DC magnetometer - susceptometer

Oxford Applied Research

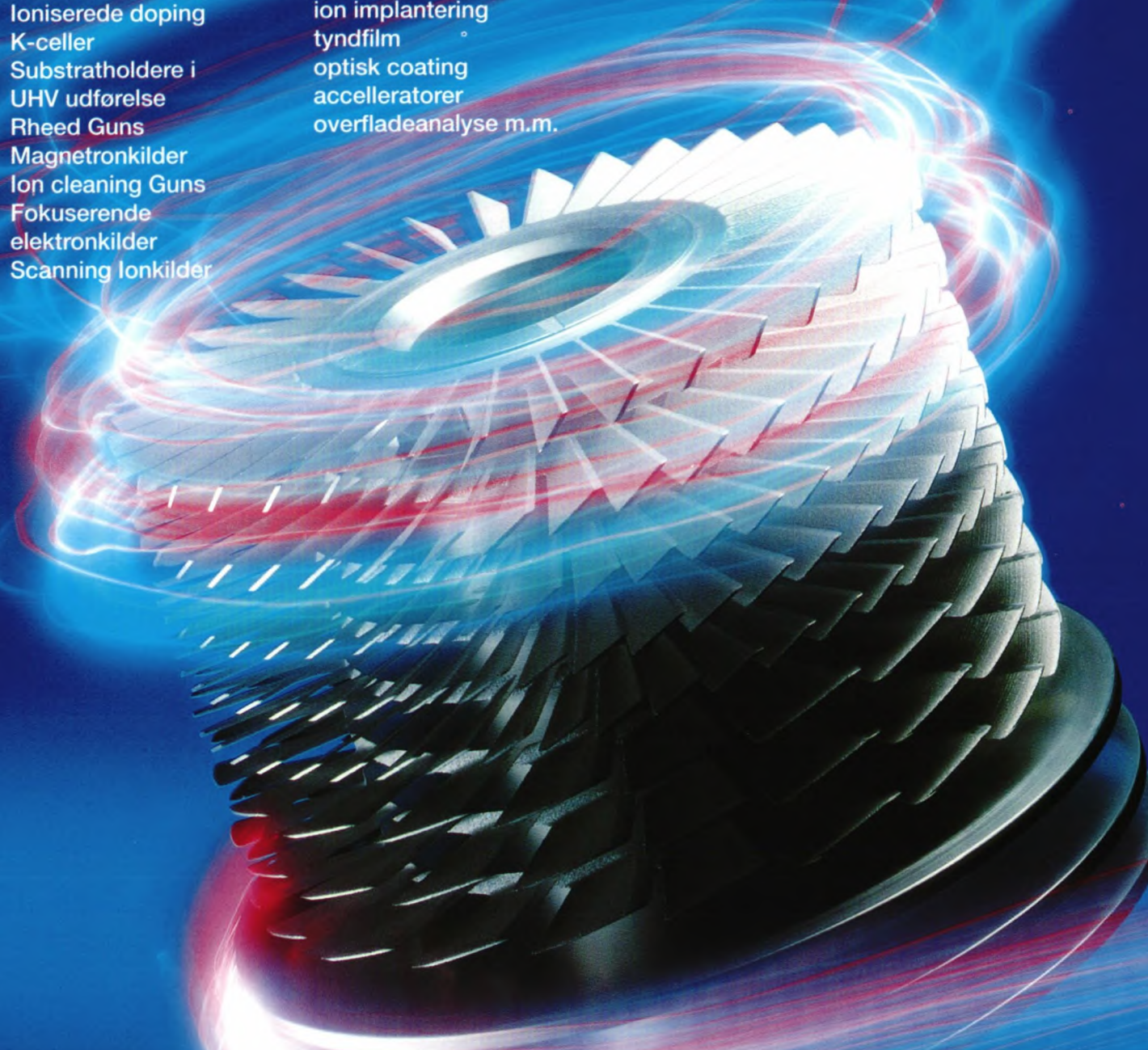
Reaktive atomkilder
Mini E-beams
Quartz micro vægte
Ioniserede doping
K-celler
Substratholdere i
UHV udførelse
Rheed Guns
Magnetronkilder
Ion cleaning Guns
Fokuserende
elektronkilder
Scanning ionkilder

Leda - Mass

Quadrupoler / RGA
Windowsbaseret software
Specielt design til
sputterprocesser
ion implantering
tyndfilm
optisk coating
acceleratorer
overfladeanalyse m.m.

APD cryogenics

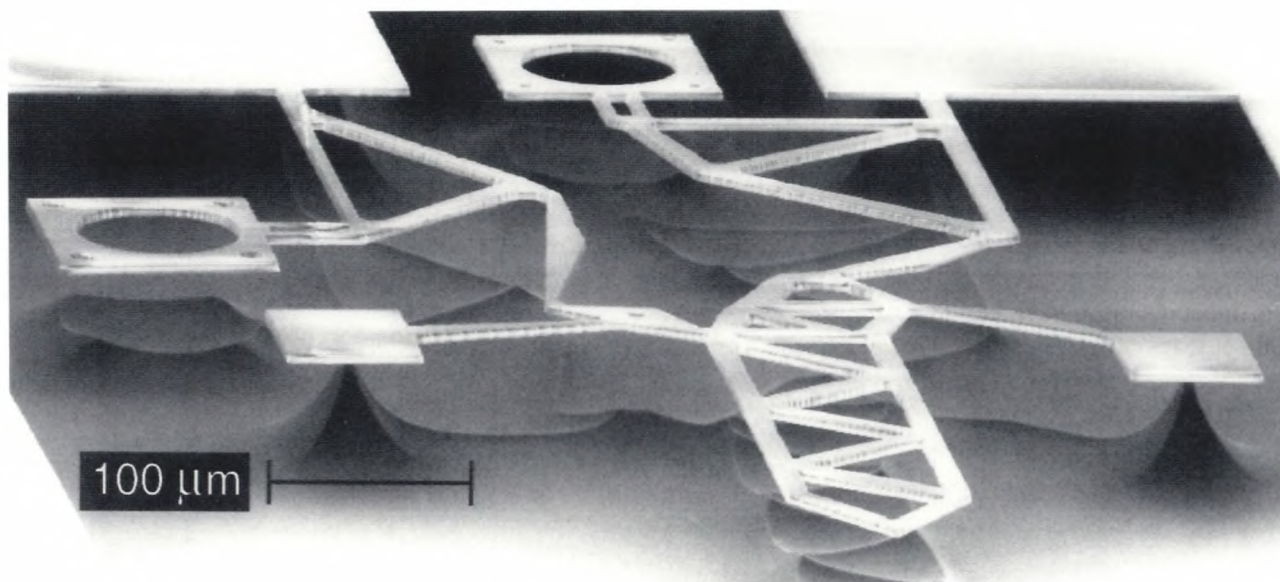
Close cycle kryostater ned til 6,5 °K
Open cycle kryostater ned til 2 °K
Cryotiger fra 80 °K til 120 °K
Kryopumper



AAGE CHRISTENSEN A/S

Skelmosevej 10, DK-2500 Valby Tlf. 36 44 24 44 Fax 36 44 20 24





Figur 5. En mikrostruktur, der kan samle og invertere bevægelser langs to akser, lavet i et deponeret SiO₂-lag.

Mikromekanisk mikrofon til høreapparater

Microtronic A/S er et af de firmaer i Danmark, der ser nye muligheder i at anvende mikromekanik. Microtronic laver komponenter til høreapparater, bl.a. mikrofoner. Mikrofonerne, der bruges i høreapparater i dag er fremstillet med stort set den samme teknologi, som man brugte i 60'erne, og det er yderst begrænset, hvad der kan opnås ved yderligere optimering. Der er ønsker om mindre mikrofoner med øget pålidelighed, større båndbredde, bedre signal/støj-forhold og lavere fremstillingspris. For at kunne opnå dette, er det nødvendigt med en radikal ændring af mikrofonen.

Mikromekanik ser ud som en lovende teknologi. Der er bl.a. en række universiteter, der har publiceret lovende resultater med mikromekaniske mikrofoner. Derfor valgte man at starte et projekt til udvikling af en mikromekanisk mikrofon.

Mikrofonerne, der bruges i høreapparater i dag, er kondensatormikrofoner. De består af en blød membran, som sammen med en fast bagelektrode udgør en pladekondensator. Membranen udbøjes af lydtrykket, det giver en ændring i luftgabet i kondensatoren og dermed ændres den elektriske kapacitet, som derfor kan bruges som mål for lydtrykket.

Sammenlignet med den traditionelle teknologi giver mikromekanik f.eks. mulighed for at lave tyndere membraner og meget mindre luftgab mellem membran og bagelektrode, og begge dele kan være med til at øge følsomheden. Det giver imidlertid også nye problemer, fordi det meget mindre luftgab gør mikrofonen meget følsom over for støv og kondensdannelse.

For at undgå, at man bare overførte det eksisterende mikrofondesign til den nye teknologi, valgte vi først at lave en sammenlignende undersøgelse af alle tænkelige transducerprincipper for at kunne vælge den bedst eg-

nede. Blandt de mange undersøgte transducerprincipper kan nævnes: piezoelektriske, piezoresistive, capacitive (almindelige og med et ladet "elektret"), optiske og MOS (hvor membranen er gate i en MOS-transistor). Desuden blev tunnelstrømsdetektion undersøgt. Det er et nyt interessant transducerprincip, der er baseret på strømmen, der kan tunneller mellem to ledere, der er meget tæt på hinanden. Strømmen afhænger eksponentielt af afstanden, og det giver en meget stor følsomhed. Tunnelstrømsdetektion har været anvendt i bl.a. mikromekaniske accelerometre.

Det viste sig sjovt nok, at i konkurrencen med de nye detektionsprincipper, er det klassiske princip stadig levedygtigt. Undersøgelserne pegede på capacitive mikrofoner som de bedste kandidater. For at undgå problemer med fugt og støv i luftgabet, blev der samtidig udviklet nogle helt nye mikrofondesign. Et af dem beskrives nærmere i de følgende afsnit.

Dobbeltmembran-mikrofonen

Problemet med fugt og støv i den smalle luftspalte kan løses ved at give mikrofonen to membraner, én på hver side af bagelektroden (se figur 6). De giver en fuldstændig hermetisk forsegling af de små luftgab mellem bagelektroden og membranerne, så støv og fugt ikke kan blive et problem.

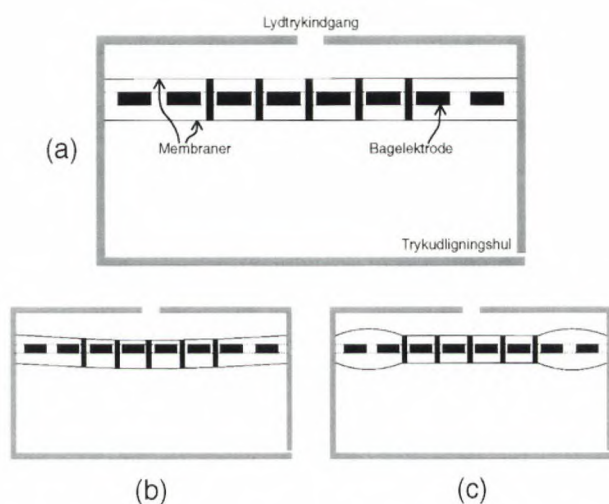
Nu kunne man spørge hvorfor man ikke blot holder sig til en enkelt membran og forsegler denne hermetisk henover luftgabet ned til bagelektroden? Sagen er at membranen ikke alene skal reagere villigt på lydtrykket, men også skal være immun overfor ændringer i barometerstanden. Dette statiske tryk varierer omkring 1000 gange mere end det største lydtryk som mikrofonen skal måle.

Ændringer i det statiske tryk vil få membranen i en enkeltmembrankonstruktion til at udbøje vold-

somt, hvilket fuldstændig ødelægger mikrofonens funktion. Membranerne i en dobbeltmembranmikrofon vil naturligvis også give sig under ændringer i det statiske tryk, men her muliggør mikromekanikken en smart konstruktion der løser problemet.

Løsningen består i at forbinde de to membraner med søjler, der går igennem huller i bagelektroden som vist på figur 6. I de yderste områder er der ingen søjler, og i disse områder optages ændringer i det statiske tryk ved at de udbøjer. Der er ikke elektroder i de yderste områder, så udbøjningerne påvirker ikke lydtryksmålingen. Denne konstruktion er formentlig kun mulig med mikromekanik.

Det er meget vanskeligt at lave analytiske beregninger på dobbeltmembran-mikrofonen med søjlerne, så for at sikre at dens akustiske følsomhed ikke bliver for lav, modellerede vi strukturen med finite-element-beregningsprogrammet "ANSYS". Resultatet viste, at dobbeltmembran-mikrofonen vil kunne opfylde kravene til høj følsomhed over for lydtryk og lille følsomhed over for ændringer i det statiske tryk.



Figur 6. Dobbeltmembran-mikrofon: membraner, bagelektrode og hus vist skematisk; (a) uden trykpåvirkning (b) med lydtryk (c) med statisk trykpåvirkning.

Force-balancing

Der er naturligvis grænser for hvor meget membranen i en mikrofon kan flytte sig. Udsat for for store lydtryk vil membranen ødelægges eller komme i kontakt med bagelektroden. Men længe inden det sker betyder deformationerne af membranen at den bliver ulineær i sit respons på lydtrykket. En større mekanisk stivhed af membranen øger de største lydtryk man kan måle, men hæver samtidigt grænsen for hvor lave lydtryk man får med. Kort sagt bliver mikrofonen mindre følsom, mens dynamikområdet bevares.

For at øge dynamikområdet kan man anvende en

teknik der er kaldt "force balancing". Force-balancing har med succes været anvendt i mikromekaniske accelerometer, og der er også et enkelt eksempel på en mikromekanisk mikrofon med force-balancing. Princippet i force-balancing er meget simpelt: Man påvirker sensoren med et signal, der modvirker og ideelt set ophæver det signal, den måler. For mikrofoner gøres det ved, at membranen elektrostatiske påvirkes af en kraft, der ophæver lydtrykket. I stedet for det direkte mikrofonsignal bruger man så den styrespænding som man påtrykker mikrofonen som mikrofonudgangssignal.

Med denne teknik opnår man, at membranens udbøjning bliver reduceret og den tilsyneladende stivhed bliver større. Det kan give en række fordele som øget følsomhed, båndbredde og dynamikområde, bedre lineartitet og mindsket følsomhed for variationer i det statiske tryk og for variationer i stivheden af membraner. Desuden giver det mulighed for elektronisk at tilpasse overføringsfunktionen, f.eks. kan resonansfrekvensen og dæmpningen af resonansen kontrolleres. Ulemper ved at bruge force-balancing er det mere komplicerede elektroniske kredsløb til aftastning af sensoren og risikoen for at mikrofonen går i selvsving.

Fremstilling af mikrofonen

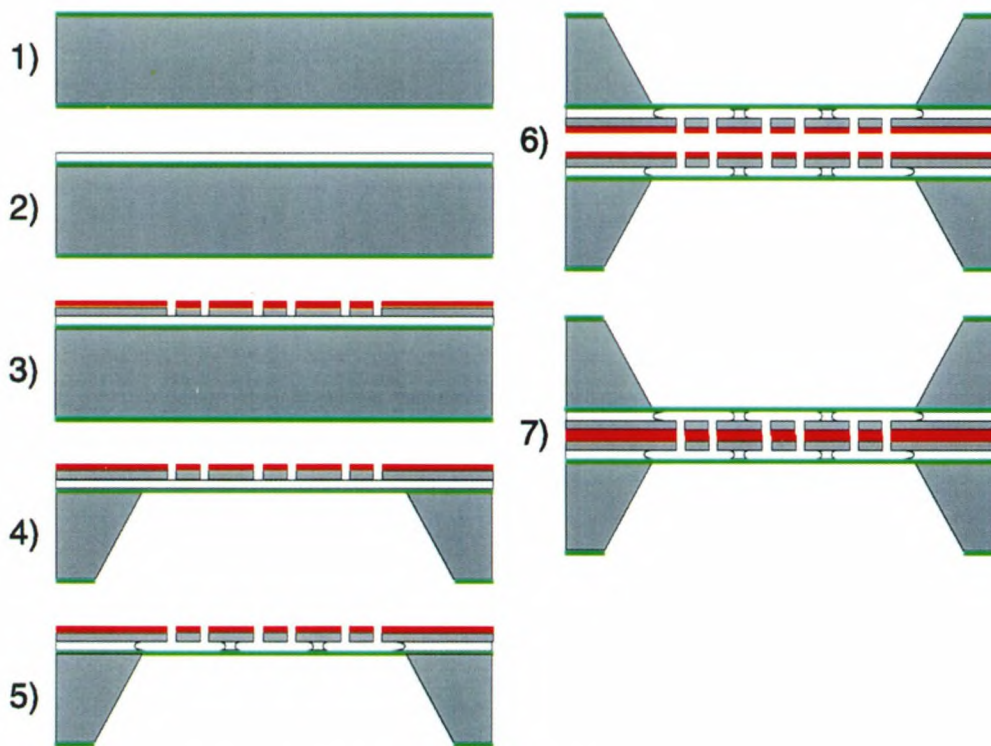
Dobbeltmembran-mikrofonen ville være meget vanskelig at fremstille med traditionel teknologi, men med mikromekanik er det muligt. Figur 7 viser et forslag til en fremstillingsproces, som meget ligner tidligere anvendte metoder til fremstilling af mikromekaniske mikrofoner – bortset fra det sidste processtrin.

Første trin i fremstillingen er deponering af et ca. $0,2\ \mu\text{m}$ tykt lag Si_3N_4 på siliciumskiven. Det skal senere udgøre mikrofonmembranen. Derefter deponeres et lag SiO_2 med en tykkelse i størrelsesordenen $1\ \mu\text{m}$, som kommer til at definere luftgabet mellem membran og bagelektrode. I trin 3) deponeres et siliciumlag og et lag, der senere skal bruges til waferbonding, og der ætzes mønster i de to lag. I trin 4) ætzes der en åbning i nitriden på bagsiden, og derefter ætzes der hele vejen igennem skiven med KOH. I trin 5) ætzes SiO_2 'en mellem membranen og bagelektroden væk. I enkelte punkter bliver SiO_2 'en tilbage, hvor små arealer af bagelektroden tidligere er blevet ætset fri fra resten af bagelektroden. De kommer senere til at udgøre søjlerne.

Da Si_3N_4 -membranen ikke er ledende, skal der pådampes et tyndt metallag på den – det er ikke vist i figur 7. Som mikrofonen ser ud på dette stadium ligner den meget de traditionelle kapacitive mikromekaniske mikrofoner, der tidligere er blevet publiceret.

To identiske wafere bondes nu sammen forside mod forside – trin 7) – sådan, at de tilsammen udgør strukturen med to membraner der hermetisk forsejler en bagelektrode mellem dem. De små arealer af bagelektrodematerialerne, som kun hænger fast i membranen, danner nu søjlerne mellem de to membraner.

■ Silicium ■ Si_3N_4 □ SiO_2 ■ Bondmateriale



Figur 7. En fremstillingsproces til dobbeltmembran-mikrofonen.

Den færdige mikrofon

Det forventes, at de første mikrofoner lavet i Mikroelektronik Centrets laboratorier er færdige i begyndelsen af 1996. Men derfra er der stadig langt til en færdig mikrofon, der kan bruges i et høreapparat. Selvfølgelig skal designet optimeres yderligere for at forbedre signalet og mindske støjen så signal/støj-forholdet bliver bedre. Vigtigere endnu er det, at der også skal integreres elektronik i form af filtre og forstærkere, og at der skal laves en indkapsling af mikrofonen. Indkapslingen af en mikrofon er vanskeligere end de fleste andre komponenter, fordi der skal være åbent ud til omgivelserne, så lydtrykket kan komme ind i mikrofonen. Det er målet at lave indkapslingen integreret på waferniveau i så høj grad som muligt.



Jesper Bay er civilingeniør og ansat i Microtronic A/S som erhvervsforskerstuderende på Mikroelektronik Centret.
E-mail: Bay@mic.dtu.dk

Alt med måde

Mogens Esrom Larsen, Matematisk Institut, Københavns Universitet

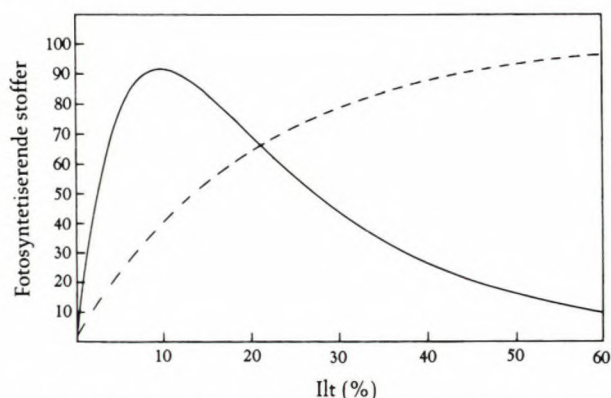
Man kan undre sig over den enorme forskel på Jordens og dens nærmeste naboers livsbetingelser. Hvilket helt utroligt svineheld at vi har vand, ilt, kuldioxyd og salt, endda i så behagelige koncentrationer, for slet ikke at tale om den stabile temperatur; vi bliver hverken kogt som på Venus eller frosset ihjel som på Mars.

Hvordan bærer vi os ad med at efterleve Solons vejledning fra Apollotemplet i Delphi, μηδὲν ἄγαν, "aldrig for meget"? Er det et tilfælde, der ligner en tanke, eller der det omvendt?

Tænk på, at ved en iltkoncentration på 15% eller derunder er det umuligt at få ild på et stykke træ, mens skovene går op i luer ved selvantændelse eller lynnedslag som ingenting, så snart iltkoncentrationen når op på 25%.

I stedet for at tænke på for høj og for lav iltkoncentration som Skylla og Charybdis, må man forestille sig katastroferne som dele af en selvregulerende mekanisme. Når skovene brænder, bruges ilten, så koncentrationen falder. Og når skovene ikke brænder, vokser de og producerer ilt ved fotosyntese. De 21% er en ligevægtsværdi, som er i ligevægt med en vis mængde fotosyntetiserende planter.

Composite



Figur 1. Mængderne af fotosyntetiserende stoffer er angivet i procent af, hvad der overhovedet er plads til. Den fuldt optrukne linie angiver derfor, hvor stor udnyttelsesgrad den pågældende iltkoncentration fører til, mens den stiplede omvendt viser, hvilken iltkoncentration, der bliver resultatet af en sådan mængde fotosyntetiserende stoffers aktivitet.

Sådan har det været længe, men ikke altid. Der er en ligevægt uden ilt, men med en høj koncentration af metan og kuldioxyd og et liv af bakterier og lignende iltskyende organismer. De lever for resten endnu, beskyttet mod ilten f. eks. i et tarmsystem hos et dyr eller på bunden af oceanerne. Men denne ligevægt bliver i virkeligheden ustabil, så snart en organisme har opfundet fotosyntesen. Denne starter en iltproduktion, der først standser, når koncentrationen når et niveau, der giver mulighed for iltforbrugende

brande.

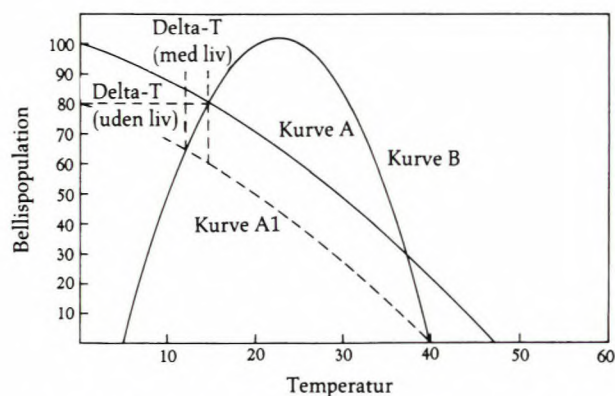
Den beskrevne dynamik illustreres i figur 1 med to kurver, den fuldt optrukne, der viser plantelivets omfang som funktion af iltkoncentrationen, mens den stiplede viser iltkoncentrationens afhængighed af omfanget af plantevækst. Der er ligevægt i de to skæringspunkter, i 0 er den ustabil, og ved en koncentration på 21% er ligevægten stabil.

Det afspejles af den (for-)historiske udvikling. I den første milliard år fra livets opståen befandt det sig i den ustabile ligevægtsstilling på 0% ilt. Fotosyntesens mulighed er, hvad der efter dens opfindelse gjorde ligevægten ustabil. En forbløffende hurtig vækst – under 100 millioner år – af de fotosyntetiserende organismer bragte koncentrationen op på de 21%, som den har holdt sig nær i 2,5 milliarder år.

Dette eksempel har inspireret til den opfattelse, at de levende organismer på vor klode selv regulerer de fysiske vilkår, vi lever under.

Det gælder muligvis også temperaturen, selv om varmen i stort omfang kommer fra solen. Det er jo muligt for de levende organismer at påvirke opslugning og frastødning af varmen ved valg af egen farve og ved styring af skydækket.

Tænker man sig en sammenhæng som på nedenstående figur, der er tænkt som beskrivelse af en planet bevokset med bellis, så finder man en ustabil og en stabil ligevægtstemperatur.



Figur 2. Bellispopulationen er angivet i procent af, hvad der overhovedet er plads til. Kurven B angiver derfor, hvor stor udnyttelsesgrad den pågældende iltkoncentration fører til, mens kurverne A og A1, der svarer til 2 forskellige lysstyrker af stjernen, viser, hvilken iltkoncentration, der bliver resultatet af en sådan mængde af bellis.

Man beskriver dynamikken som herover ved hjælp af to simple funktioner, $y = f(x)$, der beskriver plantevæksten som funktion af temperaturen, og $x = g(y)$, der

beskriver temperaturen som funktion af plantevæksten. Dynamikken består i en iteration, man begynder med en vis temperatur, x_0 , beregner plantevæksten $y_0 = f(x_0)$, og derefter temperaturen, $x_1 = g(y_0)$, osv., og derved en følge af temperaturer, $x_0, x_1, \dots, x_n, \dots$. Spørgsmålet er nu, om dette dynamiske system er stabilt forstået på den måde, at følgen (x_n) holder sig begrænset, evt. konvergerer mod en ligevægt, x^* .

Ligevægt er en reproducerende temperatur, det skal gælde, at hvis vi finder plantevæksten $y^* = f(x^*)$, så finder vi igen temperaturen $x^* = g(y^*)$. Temperaturfølgen forbliver i x^* . Spørgsmålet er nu, om talfølgen (x_n) konvergerer mod x^* eller ej.

Lad os definere $h(x) = g(f(x))$. Talfølgen er defineret ved

$$x_{n+1} = h(x_n)$$

og vi ved, at $x^* = h(x^*)$. Lad os studere forskellen, $x_n - x^*$. Det gælder, at

$$x_{n+1} - x^* = h(x_n) - h(x^*)$$

Hvis nu h er differentiabel, så vil der findes et punkt, x , mellem x^* og x_n , så at

$$h(x_n) - h(x^*) = h'(x)(x_n - x^*) \quad (1)$$

Det skyldes simpelthen, at funktionen

$$k(x) = h(x) - h(x^*) - \frac{h(x_n) - h(x^*)}{x_n - x^*}(x - x^*)$$

antager værdien 0 i punkterne x^* og x_n , og i et indre punkt antager sin største eller mindste værdi. I begge disse punkter har k vandret tangent, altså $k'(x) = 0$. Heraf følger (1).

Hvis det nu gælder, at $|h'(x)| \leq q < 1$, så slutter vi, at

$$|h(x_n) - h(x^*)| = |h'(x)||x_n - x^*| \leq k|x_n - x^*|$$

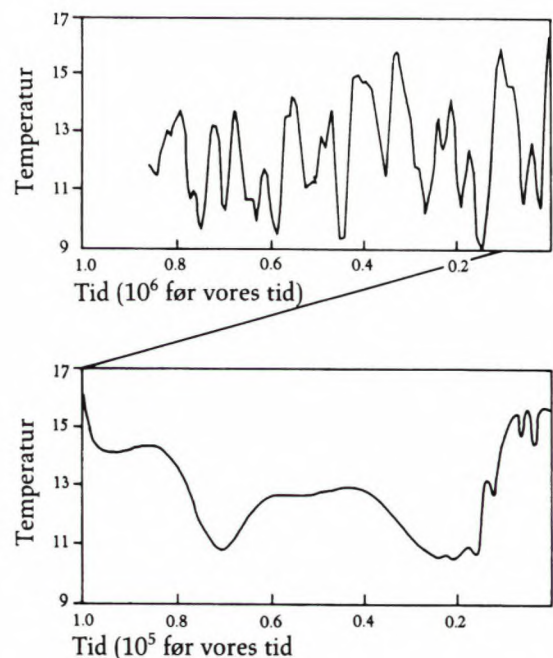
og ved gentagelse af argumentet, at

$$|x_n - x^*| \leq k^n |x_0 - x^*|$$

Noget kunne tyde på, at vi i virkeligheden har tilfældet $h'(x^*) > 1$. Temperaturen har jo svinget i tidens løb med en periode af størrelsesorden 100000 år mellem 11 °C og 17 °C. I perioder har vi istid, med lav gennemsnitstemperatur, lavt indhold af kuldioxid og omfattende plantevækst. Man må huske, at når store vandmasser er bundet i indlandsis, så er kontinentalsoklerne tørlagt og de tropiske landområder derfor langt større end i mellemistiderne. Den nærmere mekanisme er ukendt, men det lykkes for planterne at starte en temperaturstigning, der først standser, når isen næsten er væk, de tropiske landområder decimeret og havene fortyndet til den lave saltkoncentration, vi har i øjeblikket. På et tidspunkt vil den høje temperatur, vi nyder, ændre refleksionen af sollyset, så vi får et temperaturfald, der forstærkes af den første oversomring af snedækket.

Men det kan vi også udlede af den nærmere beskrivelse af funktionen, h . Hvis der findes en periode, x_1^* og x_2^* med $x_1^* = h(x_2^*)$ og $x_2^* = h(x_1^*)$, så vil det afsløre sig som et par af fixpunkter for funktionen $h^2(x) = h(h(x))$. Og de vil være stabile, og dermed perioden stabil, hvis differentialkvotienten er numerisk mindre end 1, altså hvis

$$\left| \frac{dh^2(x_1^*)}{dx} \right| = |h'(x_2^*)h'(x_1^*)| < 1$$



Figur 3. Temperatures historie under de sidste istider.

Med andre ord, sådanne simple dynamiske systemer, som her er omtalt, er sagtens i stand til at beskrive såvel et spring i iltkoncentrationen som en svingning mellem istider og mellemistider, som et samspil mellem den "døde" natur og det levende liv.

Måske er det ikke blot livsvisdom at undgå yderligheder, men en livsnødvendighed, som livet er indrettet til og umiddelbart indretter sin omverden efter.

Illustrationerne er hentet fra James E. Lovelock, *Jordens tider. En biografi om GAIA*, Hovedland, Randers 1989.



Mogens Esrom Larsen er redaktør af matematikken i KVANT. Han er lektor ved Københavns Universitet.

Vejledning for forfattere

Redaktionen af KVANT modtager meget gerne artikler fra læserne. Indholdet af artiklerne bør være forståelig for personer med interesse for fysik – således at en god gymnasieelev vil få noget ud af at læse artiklen. Illustrationer til artiklerne er meget velkomne.

Det er håbet, at der vil komme en række rubrikker – der er allerede en debatside, som er åben for indlæg om alt hvad der rører sig om fysik. Bladet vil også bringe meddelelser fra Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse, ligesom omtale af arrangementer, der kan have interesse for fysikinteresserede vil blive bragt. Da der kun kommer fire numre om året skal der gives meddelelse om et givet arrangement i god tid, hvis det skal kunne komme med i bladet. Redaktionen vil også stræbe efter at kunne bringe korte notitser med friske nyheder og anmeldelser af bøger af interesse for fysikere.

Vejledning i udformning af artikler til KVANT

For at lette produktionen modtages artikler helst på elektronisk facon. Det kan enten være som elektronisk post til e-mail adressen

kvant@nbivax.nbi.dk

eller (hellere) på en DOS-formatteret diskette, der sendes til

KVANT
c/o Mads Hammerich
Gersonsvej 40
2900 Hellerup

eller afleveres til et redaktionsmedlem sammen med eventuelle figurer, og – *meget vigtigt* – et billede og en præsentation af forfatteren, i stil med de præsentationer,

der findes i slutningen af hver artikel i dette nummer.

Teksten kan være skrevet i $\text{\LaTeX}$, som ren ASCII fil, i WordPerfect eller Word. De første formater foretrækkes.

Formler og specielle symboler kan indsættes i teksten med $\text{\LaTeX}$ eller $\text{\TeX}$. De modtages dog under alle omstændigheder også gerne på papir.

Illustrationer og billeder til artiklerne afleveres separat – det er (endnu) en kvalitetsmæssig fordel at indsætte disse i artiklen på sædvanlig facon. Undlad venligst at afsætte plads til dem i teksten, men placer figurforklaringen til sidst eller for sig selv.

Tabeller og opstillinger ønskes som simple opstillinger med tabulatorer. Brug ikke for megen energi på at lave “snedige” opstillinger med linier og lignende, men vis gerne på papir hvordan du selv ville foretrække det.

- Forfatternavne skrives med kursiv.
- Afsnitoverskrifter skrives med fed skrift.
- Der er ingen tomme linier mellem afsnit, men de indledes med en indrykning (tabulering).
- Referencer anføres i teksten med et løftet ciffer, og anføres til sidst i artiklen med nummer, forfatter, artikel (eventuelt bind-nummer med fed skrift), sidetal og årstal i parentes.
- Husk et billede og en kort præsentation af forfatteren.
- Forfattere der skriver i $\text{\LaTeX}$ kan rekvirere en skabelon, at skrive i, hos redaktionen.

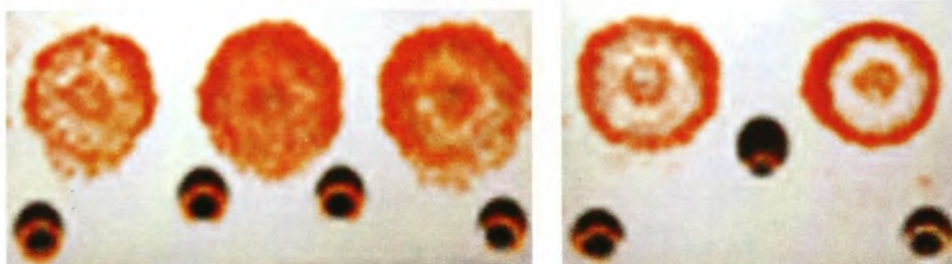
Abonnement på KVANT

koster 135 kr for en årgang og vil blive opkrævet pr. giro. Nye abonnenter vil modtage eventuelle tidligere numre af den løbende årgang. Medlemmer af Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse vil modtage bladet som et medlemsblad.

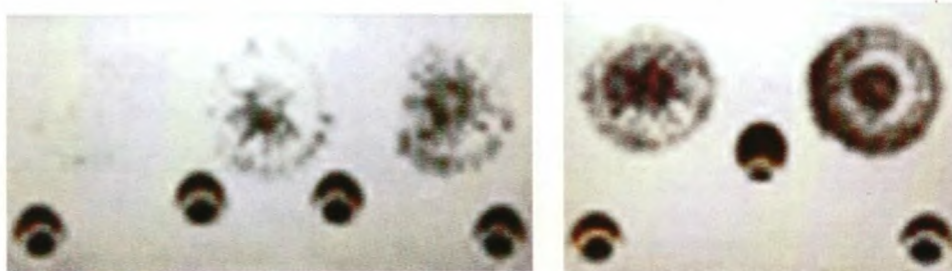
Hvis du mener at du har abonnement, men ikke får bladet – har du nok glemt at melde flytning af bladet hos dit lokale postkontor, eller måske har du ikke betalt. Bemærk at flytning af KVANT skal meddeles postvæsenet eksplicit!

Abonnement tegnes ved at skrive til

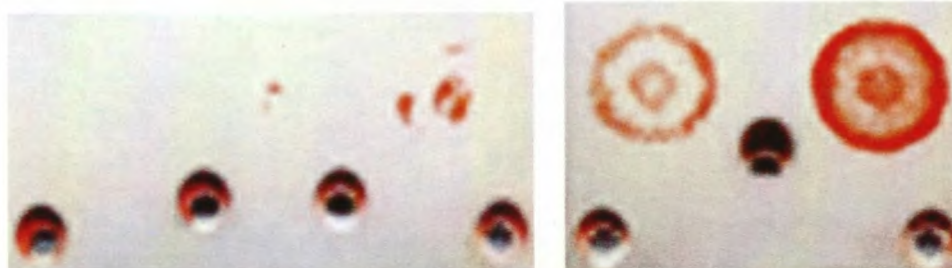
Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, e-mail: koerner@math.ku.dk



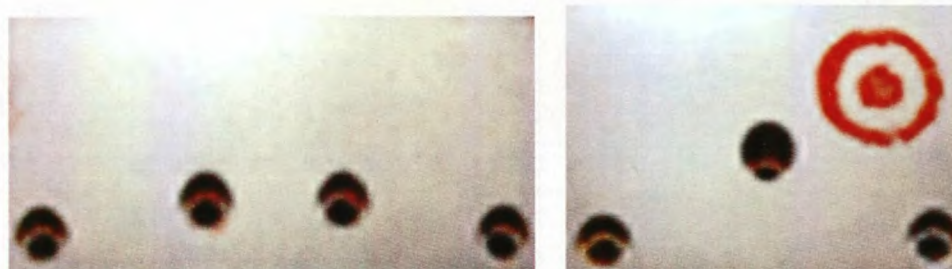
Maghemite (attracted by all magnets)



Black sand (from the island Anholt in Denmark. Mainly magnetite with impurities)



Feroxyhite (synthetic)



Hematite (synthetic)