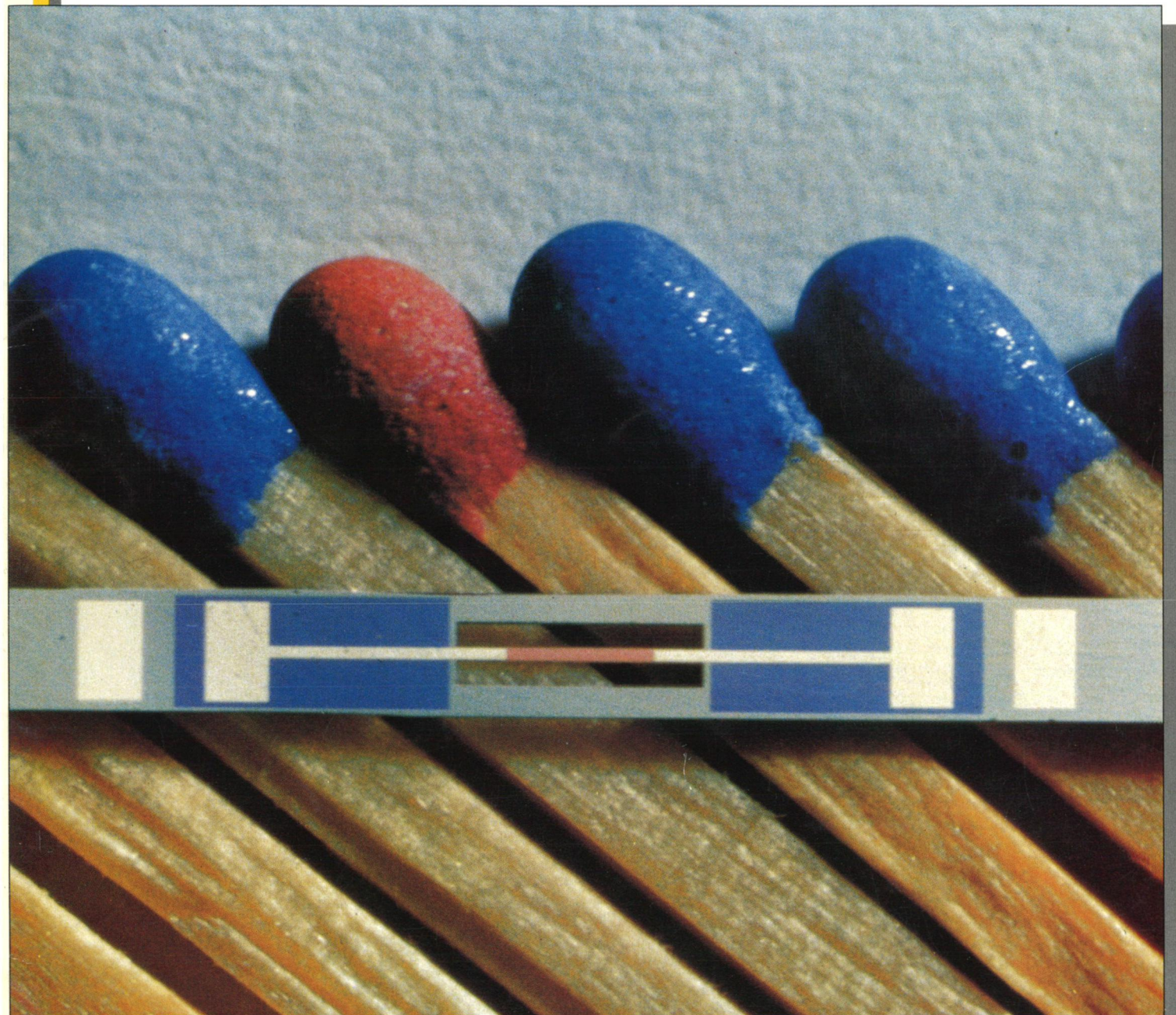


jaargang 30, nummer 1

Mikroniek

NVFT

VAKBLAD FIJNMECHANICA



Micromechanica

Magnetometer

Micropompen

Precisiekrachtsensor

Beknopte inhoudsopgave

Hoofdstuk 1.

De betekenis en de plaats van de werkplaatsmeettechniek bij de fabricage van verwisselbare onderdelen.

De kwaliteitskenmerken
Het belang van verwisselbare onderdelen
Het fabriceren van verwisselbare onderdelen
Het fabricageproces
De beheersing van de fabricage

Hoofdstuk 2.

De grondbeginselen van het geometrisch meten

De fysische verschijnselen
De geometrische voorwaarden

Hoofdstuk 3.

De meetonnauwkeurigheid bij geometrische metingen

Het meetproces
De systematische en toevallige afwijking
Berekenen van de toevallige afwijkingen
De meetonnauwkeurigheid

Hoofdstuk 4.

De lengte-eenheid en de overige meeteenheden

Historie van de lengte-eenheid
De meterstandaard
Licht als maatstaf
De erkende meeteenheden
Het inch-stelsel
De secundaire en de gematerialiseerde lengtestandaarden

Hoofdstuk 5.

De ISO toleranties en passingen en hoe zij worden gekeurd

Het ISO systeem voor toleranties en passingen
Het keuren van de ISO toleranties

Hoofdstuk 6.

De analyse van het meetprobleem en de keuze van de meetmethode

De meet- en controlemiddelen
De maatstandaard
Pasmiddelen
Hulpmiddelen
De meetinstrumenten

Hoofdstuk 7.

Meetmiddelen voor het meten in één ordinaat

Direkte handmeetgereedschappen
De indirecte handmeetgereedschappen
De stationaire directe meetinstrumenten
Stationaire indirecte meetinstrumenten
Mechanische, elektrische, optischelektrische en pneumatische opnemers

Hoofdstuk 8.

De betekenis van de vormen- en plaatstoleranties en het bepalen van de vormnauwkeurigheid

Het controleren en meten van de rechtheid
Het controleren en meten van de vlakheid
Het meten van de rondheidsafwijkingen
Het meten van de cilindriciteit

Hoofdstuk 9.

De meetmiddelen voor coördinatenmetingen

De profielprojector
De coördinaten meetmikroskoop
De coördinaten meetmachines

Wij verzoeken u te leveren:

_____ ex. **Werkplaatsmeettechniek**

NAAM _____

ADRES _____

POSTCODE _____

PLAATS _____

Zenden aan De Vey Mestdagh
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland

Hoofdstuk 10.

Meetmethoden voor het bepalen van de oppervlakteruwheid

De oppervlakteruwheidswaarde
De aanduiding op tekeningen

Hoofdstuk 11.

Het meten van een hoek

Foutenbronnen
De hoekmeetinstrumenten

Hoofdstuk 12.

Het passen en meten van schroefdraad

De schroefdraad
De schroefdraadtoleranties
Het keuren van de schroefdraad
Het meten van de schroefdraad



Prijs **f 49,-**
incl. BTW

Werkplaatsmeettechniek

Uitgangspunt van de auteur: het toenemend belang van het meten in het moderne industriële fabricageproces en de noodzaak aan waarborgen om dit proces zo te regelen dat elk werkstuk binnen zo kort mogelijke tijd en tegen minimale kosten overeenkomstig de kwaliteitseisen kan worden gemaakt of samengesteld.

Ing. F. Langereis

''Werkplaatsmeettechniek''

omvat 260 pagina's op formaat 15.4 x 22.2 cm
366 figuren, 35 tabellen

**IN BELGIË TE BESTELLEN BIJ
UITGEVERIJ DE SIKKEL**

Editorial prof. dr. J.H.J. Fluitman

Micromechanica, een nieuwe uitdaging

Uitgave:

De Vey Mestdagh BV

Redactie:

Ing. H.J. van Agthoven
Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)
H.M.C. Heubers
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
G.J. Verschragen
D. Blank

Redactiesecretariaat:

J. Snickers
Klaprooslaan 17
5691 WL Son
Telefoon (04990) 71831
b.g.g. (01180) 36320

Redactie-adviesraad:

Prof.Ir. A. Anemaat
Prof. L.H.J.F. Beckman
Prof.Dr.Ir. H.F. van Beek
Prof.Dr.Ir. J. Bleeker
Ing. H. Bosch
Ir. P. Brinkgreve
Ing. M.F. Dierselhuis
Prof.Ir. F. Doorschot
Prof.Ir. C. Heuvelman
Ir. D. de Hoop
A. Meijering
Dr.Ir. J.A. Rietdijk
Prof.Dr.Ir. Ch. Snijders
Ir. G. Vaessen
Ir. D. van 't Veen
Dr.Ir. J. Verkerk

Abonnementen:

De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240
Postgirorekening 26 06 279
Nederland f 95,- per jaar
Buitenland f 120,- per jaar
Alle prijzen excl. BTW

Advertentie-acquisitie:

De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240
Fax (01180) 81215

Vormgeving:

Jurriaan Bol Design, Son

Tekst en beeld:

Grefo, Son en Breugel

Druk- en bindwerk:

Den Boer Drukkers

Mikroniek verschijnt één maal
per 2 maanden

ISSN 0026-3699

Orgaan van



vereniging voor
Fijnmechanische Techniek

De micromechanica, zoals die in dit nummer aan de orde komt, is voortgekomen uit de micro-elektronica. Men heeft in de jaren zestig ontdekt, dat de drager van de micro-elektronische schakeling, het siliciumkristal, zich heel goed leende voor ruimtelijke vormgeving met behulp van speciale etstechnieken (bulk-micromachining). Daarmee konden de uitstekende mechanische eigenschappen van het siliciumkristal worden gecombineerd met de elektronische en het idee van de siliciumsensor met elektronische componenten aan boord van dezelfde chip was geboren.

Als een van de eerste ideeën heeft men het produceren van dunne siliciummembranen geëxploiteerd. Plaatselijk aangebracht kunnen deze membranen drukverschillen registreren, doordat de opbolling met behulp van rekgevoelige weerstandelementen kan worden gedetecteerd. Dit idee, dat stamt uit het eind van de jaren zestig, heeft geleid tot een produkt dat nu op grote schaal in de automobiellindustrie wordt toegepast. Vanaf die tijd heeft de bulk-micromachining zich in snel tempo ontwikkeld, *u zult er kennis van kunnen nemen in het overzichtsartikel van de hand van Ir. H. Leeuwis en Ir. H. van Woerkens*. Men is daarbij steeds drierter te werk gegaan en heeft het aangedurfd om steeds ingewikelder structuren aan te pakken. *De voorbeelden die door Dr. F. v.d. Pol en Dr. F. Blom zullen worden beschreven zullen dat duidelijk maken*. Een bijdrage aan de technologie, die hierbij niet onvermeld mag blijven, is die van het "bonden" van siliciumplakken aan elkaar, of aan glasplaatjes, zodat naast het diep-etsen in silicium ook het stapelen en hechten van plakken op en aan elkaar kan worden geëxploiteerd.

De échte doorbraak van de micromechanica is van recente datum. Sedert enkele jaren is het namelijk mogelijk om losse, vrijlopende onderdelen, binnen een samenhangende structuur, via etsprocessen te realiseren. Men kan daarbij echt denken aan machientjes met draaiende onderdelen, met een diameter in de grootte-orde van een tiende millimeter.

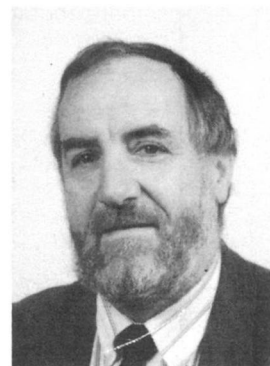
Deze nieuwe technologie (surface-micromachining), is naar voren gekomen uit de kring van "micro-robotics and tele-operation", daarbij denkend aan op afstand bestuurd micromachientjes bijvoorbeeld ten behoeve van medische ingrepen.

Hiermee is de silicium-micromachining uitgegroeid tot een technologie, waarmee een enorm terrein van mogelijkheden is opengelegd, een terrein dat zich ongetwijfeld niet zal beperken tot silicium - men beproeft ook galliumarsenide en kwarts op dit punt - en dat ongetwijfeld aansluiting zal vinden met de etsmethoden uit de meer klassieke fijnmechanische techniek.

Maar, laten we eerlijk zijn. De medaille heeft echter een keerzijde en dat is de prijs die betaald moet worden voor de kostbare apparatuur en de "clean room" omgeving, waarin deze moet worden ondergebracht. Het zal voor een onderneming die zich op dit terrein wil begeven een ferme investering vragen, hetgeen betekent dat zo'n onderneming eerst voldoende vertrouwen moet hebben in een produkt alvorens de stap wordt gezet.

Het lijkt daarom verstandig, zo niet onvermijdelijk, dat belangstellende bedrijven tezamen investeren in een "foundry", zo mogelijk leunend tegen een universitair laboratorium, waarin interactief de benodigde know-how kan worden verkregen, ideeën kunnen worden uitgeprobeerd en prototypen kunnen worden vervaardigd.

Het gaat dus om een technologie met een prijskaartje, maar gezien de ontwikkelingen, die op dit ogenblik plaatsvinden lijkt dat alleszins te rechtvaardigen.





Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

Het NLR is een laboratorium voor toegepaste research op het gebied van lucht- en ruimtevaart. Er werken ca. 780 personeelsleden, verdeeld over twee vestigingen, te weten in Amsterdam en in de Noordoostpolder.

Voor de afdeling **Werkplaatsen** te Amsterdam zoeken wij een (m/v)

instrumentmaker met metaal-B

Deze afdeling is verantwoordelijk voor de aanmaak en het onderhoud van de werktuigbouwkundige constructies die nodig zijn voor het onderzoek in het laboratorium. Hierbij speelt de productie van complexe windtunnelmodellen een belangrijke rol.

De functie:

U zult worden geplaatst in de groep Fijnmechanische Werkplaats. Uw taak zal bestaan uit de vervaardiging van onderdelen voor en de montage van

zeer hoogwaardige instrumenten en apparatuur.

Wij vragen:

- een brede kennis, een goed ruimtelijk inzicht en een uitstekende handvaardigheid;
- een met goed gevolg doorlopen opleiding Instrumentmaker Metaal-B (Leidse Instrumentmakers School), of een daarmee gelijk te stellen opleiding.

Indien u belangstelling heeft voor deze vacature kunt u uw schriftelijke sollicitatie richten aan het NLR, afdeling Personeelszaken, Anthony Fokkerweg 2, 1059 CM Amsterdam, met vermelding van **vacaturenummer TW-03**.

Desgewenst kan telefonisch een sollicitatieformulier worden aangevraagd op nummer (020) 511 35 13.

Du-MED in Rotterdam is een jong medisch bedrijf dat werkzaam is op het gebied van invasieve ultrageluidsapparatuur. Dit in nauwe samenwerking met de Erasmus Universiteit van Rotterdam. Het Ultrageluid Cathetersysteem dat high tech electronica en micro-mechanica combineert, wordt voornamelijk toegepast bij onderzoek en behandeling aan menselijke bloedvaten.

Du-MED

Voor onze ontwikkelings- en engineering-afdeling zoeken wij een

DEVELOPMENT ENGINEER M/V

Zijn/haar taak zal zijn het ontwikkelen van disposable ultrageluidscatheters. Eigen creativiteit speelt in deze functie een belangrijke rol.

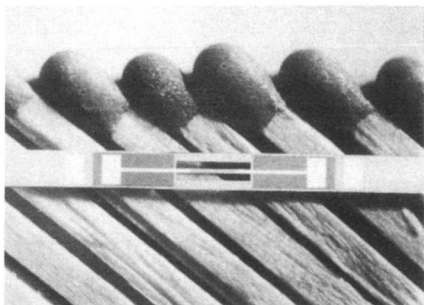
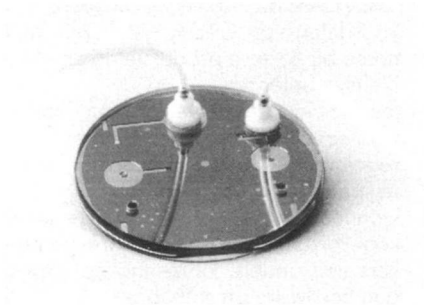
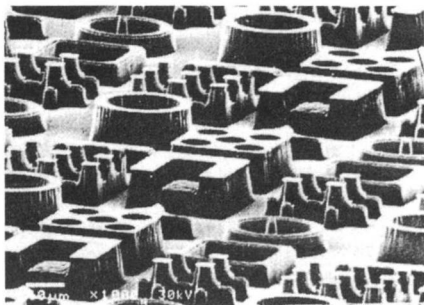
Voor een goede vervulling van deze functie denken wij aan een TU/HTS ingenieur werktuigbouw of fijnmechanische techniek. Enige jaren ervaring in een soortgelijke functie, bij voorkeur in de medische industrie, is noodzakelijk.

Indien u belangstelling heeft voor deze functie, nodigen wij u uit uw schriftelijke sollicitatie te zenden aan:

Du-MED B.V.
Overschieeweg 54, 3044 EG Rotterdam.
Tel. 010-4375977.

Voor inlichtingen over deze functie kunt u zich wenden tot de heer drs. H. Baartmans,
Tel.: 030-893978.

Inhoud



Bij de foto op de voorpagina:

Deze afbeelding toont een precisiekrachtsensor voor een bereik van 0 tot 1N, waarbij gebruik wordt gemaakt van een resonerende siliciumbalk. Een te meten externe, axiaal aangrijpende, kracht verschuift de resonantiefrequentie van de balk, hetgeen een maat is voor de grootte van deze kracht.

Piëzo-elektrische ZnO-films op de sensor aangebracht dienen voor excitatie en detectie van de trilling.

De sensor wordt vervaardigd met behulp van standaard IC-technologie, gecombineerd met dunnefilm-depositie en micro-mechanische technieken.

3 Mikroniek Actueel

5 Ir. H. Leewis en Ir. E. van Woerkens:
Micromechanica: ontwikkelingen, achtergrond, mogelijkheden

17 Dr. ir. F.C.M. van de Pol:
Micropompen op basis van micromechanische technieken

22 Dr. ir. Frans Blom en ir. C.J. van Mullem:
Een resonerende siliciumbalk als precisiekrachtsensor

29 Mikroniek Werkplaatsinformatie

Een nieuw gezicht en nieuwe vorm!

Verscheidene jaren heeft Mikroniek dezelfde, voor de lezers vertrouwde, vorm gehad. Langzamerhand een erg bejaagde vorm!

NVFT, Redactie en Uitgever hebben dan ook gemeend dat het voor een vernieuwing van uiterlijk en opmaak de hoogste tijd werd.

Tegelijkertijd symboliseert dat ook het nieuwe elan dat de NVFT toont en de fijnmechanische techniek in ons land nieuwe bekendheid en waardering zal geven.

Wij hopen dat mèèr lezers Mikroniek zullen opmerken! Aan de inhoud van ons tijdschrift zal met nog meer zorg gewerkt worden!

Namens de Redactiebegeleidingscommissie van de NVFT,

ir. M. Breuning.

Actueel

Ingenieursbureau TEGEMA opent nieuw pand

Het Brabantse Ingenieursbureau Tegema bestaat 12½ jaar.

In deze periode heeft het zich snel en opmerkelijk ontwikkeld tot een toonaangevend bedrijf in zijn branche.

Die branche is vooral gelegen in de ontwikkeling van speciaal-machines, seriemachines, stempels en matrijzen, speciaal-gereedschappen, complete mechaniseringen en automatisering.

Met momenteel meer dan 100 werknemers behoort het tot de grotere ingenieursbureaus in Nederland. De groei resulteerde onlangs tot de opening van een geheel nieuw pand op het industriepark Ekkersrijt te Son.

Vanaf de introductie van CAD/CAM heeft Tegema zich hiermee belast. Steeds meer werkzaamheden worden met behulp hiervan uitgevoerd. Tegema staat met deze kennis vooral ter beschikking van kleine en middelgrote bedrijven en vindt CAD/CAM noodzakelijk voor het veiligstellen van de Nederlandse concurrentiepositie. "Wij willen en kunnen met CAD/CAM ervoor blijven zorgen dat onze klanten de meest efficiënte techniek in huis hebben voor de steeds complexer wordende producten en produktiemethodes", dit is bij de opening van het nieuwe pand de uitspraak van de heren J.M.M. van Dijk en C.A.M. van den Berk (directie).

TNO-opleiding "Materiaalaspecten tribotechniek"

Bij het Metaal instituut TNO in Apeldoorn begint op 19 april 1990 een korte opleiding "Materiaalaspecten tribotechniek (wrijving, slijtage en smering)".

De cursus is bestemd voor produktontwikkelaars, constructeurs en onderhoudsdeskundigen.

Kennis van aspecten van de tribotechniek is o.a. van belang voor wie betrokken is bij het ontwerpen van tribotechnische elementen als lagers, tandwielen, afdichtingen, geleidingen e.d. Voor gebruikers van machines en apparaten is enige kennis van zaken nuttig om te kunnen fungeren als gesprekspartner van specialisten.

De TNO-opleiding omvat drie twee-

daagse bijeenkomsten, waarin voornamelijk wordt ingegaan op materiaal-(keuze)aspecten. De cursus is praktisch gericht en behandelt in kort bestek de meest voorkomende problemen op het gebied van wrijving, smering en slijtage.

Aan de orde komen o.a.:

- slijtagemechanismen,
- materialen in de tribotechniek (ook kunststoffen en keramiek),
- materiaalkeuze procedures,
- oppervlaktebehandelingen,
- smeermiddelen,
- "systeembnadering".

TNO verzorgt de opleiding in samenwerking met het Instituut voor Aandrijf- en Tribotechniek van de TU-Eindhoven, waar ook een deel van de lessen wordt gegeven.

Kaderopleidingen Metaal instituut TNO

Met Metaal instituut TNO in Apeldoorn organiseert dit voorjaar de volgende korte kadercursussen (vermeld zijn aanvangsdatum en tijdsduur):

23 april 1990: Beoordeling van radiografieën (aanvullend gedeelte) (3 dagen).

1 mei 1990: Lassen van constructiestaal met hoge sterkte (2 x 2 dagen).

15 mei 1990: CNC-plaatbewerking, NaBoNT-opleiding voor MTO-docenten (7 dagen).

13 juni 1990: Verspaningstechnologie draaien (5 dagen).

Voor nadere informatie: Metaal instituut TNO, Apeldoorn, Bureau Opleidingen, telefoon (055) 49 37 05.

CME onderzoek onder 75 CAD/CAM gebruikers

Het Centrum voor Micro-Elektronica te Eindhoven, met als één van haar taken de advisering op het gebied van CAD/CAM, heeft een onderzoek verricht naar de ervaringen bij bedrijven die CAD/CAM apparatuur minstens één jaar in gebruik hebben.

De resultaten van het onderzoek lenen zich prima voor de "aspirant" CAD/CAM-gebruikers, die hun voordeel kunnen doen met deze ervaringen van andere gebruikers.

Enkele kenmerkende conclusies uit dit rapport zijn:

- er is een grote diversiteit in hardware en met name in software in gebruik,
- de CAD/CAM-markt zal nog sterk groeien. Het merendeel van de gebruikers heeft uitbreidingsplannen, met betrekking tot hardware, software, netwerken en integratie met andere disciplines,
- vanwege het ontbreken van standaardisatie onderkennen vele gebruikers problemen te hebben,
- van een echte integratie met CAM is nog amper sprake,
- ondanks de vele problemen voldoet CAD/CAM aan de verwachtingen,
- voordelen van CAD/CAM liggen met name bij kortere produktietijd en kwaliteitsverbetering,
- leveranciers staan veelal niet "open" voor specifieke gebruikerswensen,
- regelmatig is ondersteuning door leverancier nodig,
- wanneer opnieuw een keuze gemaakt kon worden, zou één op de drie gebruikers een andere keuze maken. Zowel qua hardware als software.

Nadere informatie is te verkrijgen bij: CME Eindhoven/dhr. A.W. van Schadewijk.

Het rapport is te bestellen ad f 25,— bij: Mevr. E. Metgod CME Eindhoven Postbus 128, 5600 AC Eindhoven Telefoon: 040 - 45 52 55.

Lloyd's kwaliteitscertificaat voor Gebr. Frencken B.V.

De Machinefabriek Gebr. Frencken B.V. te Eindhoven heeft november '89 het Lloyd's Quality Assurance Certificate volgens de NEN ISO 9002 norm behaald. Daarmee behoort Gebr. Frencken B.V. thans tot de selecte groep van Nederlandse bedrijven in de fijnmechanische sector, die hun afnemers zwart op wit kunnen laten zien dat zij het begrip kwaliteitsborging onder de knie hebben. Na twee jaar van voorbereiding heeft Gebr. Frencken B.V. de strenge en intensieve controles, die aan de toekenning vooraf gaan, doorstaan. Dat het bereiken van een dergelijk certificaat commercieel grote voordelen biedt, heeft dit bedrijf reeds ondervonden. Fokker heeft Gebr. Frencken B.V. nu ook gecertificeerd volgens EASE "European Air Space Suppliers Evaluation" en dit

betekent, dat de fijnmechanische onderdelen die worden geleverd voor ondermeer de F50 en de F100 zonder extra controle door Fokker worden geaccepteerd.

Om het internationaal erkende certificaat te kunnen behalen, behoefde geen specifieke apparatuur te worden aangeschaft. Wel moest het 55 man sterke personeel van hoog tot laag worden geïnstrueerd over de wijze waarop het gehele productieproces - van order tot levering - te boek diende te worden gesteld. Dankzij de inzet van het voltallige personeel, veel hoofdbreken en een forse investering is dat gelukt.

Opleiden voor de Toekomst onderdeel van bedrijfsbeleid

Dinsdag 8 mei 1990 organiseert de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) in de Doelen te Rotterdam het Symposium: Opleiden voor de Toekomst onderdeel van bedrijfsbeleid. Het symposium wordt gehouden ter gelegenheid van het afronden van de 50-ste STT-studie. De gelijknamige publikatie zal worden aangeboden aan de minister van Onderwijs en Wetenschappen, prof.dr.ir. J.M.M. Ritzen.

Ochtendprogramma

Aanvang: 09.15 uur tot 12.35 uur
 Sprekers: drs. P. Vos, Industriebond FNV (onder voorbehoud)
 drs. J.G. Scheurer, Dir. Personeelzaken Ned. Philips Bedrijven B.V.
 drs. J.C. Blankert, Voorzitter Vereniging FME
 prof.dr.ir. J.M.M. Ritzen, Minister van Onderwijs en Wetenschappen.

Bovenstaande sprekers zullen indringend ingaan op de volgende vragen.

- Hoe kunnen opleiding en ontwikkeling van het personeel potentieel als actieve instrumenten worden gebruikt in het strategisch management van bedrijven?
- Hoe kan op het operationele niveau permanente scholing worden gerealiseerd?
- Welke nieuwe structuren worden zichtbaar op de opleidingsmarkt?
- Welke ontwikkelingen zijn zichtbaar in het reguliere onderwijs?
- Wat is de rol van en welke mogelijkheden hebben brancheverenigingen en werkgevers- en werknemersorganisaties?
- Welke verantwoordelijkheden en

mogelijkheden hebben de betrokken ministeries?

Middagprogramma

Aanvang: 14.00 tot 16.55 uur
 Sprekers: prof.dr. Ch.J. de Wolff, Katholieke Universiteit Nijmegen
 prof.dr. J.F. den Hertog, MERIT
 diverse vertegenwoordigers van de onderzochte bedrijven en opleidingsinstellingen.

In de middag zal worden ingegaan op de resultaten van de STT-studie. Er wordt een integrale benadering gepresenteerd voor het human resources management. Deze benadering wordt geïllustreerd met praktijkstudies in de metaal- en elektronicabranche en in het bankwezen. Verder worden handreikingen gegeven voor het formuleren van de behoefte aan opleidingen in bedrijven en het realiseren van de noodzakelijke opleidingsinspanning. Voorts wordt een overzicht gegeven van de ontwikkelingen en nieuwe mogelijkheden op de opleidingsmarkt. Deze worden eveneens geïllustreerd met praktijkstudies van veelbelovende initiatieven.

Tentoonstelling

Gedurende de dag zal een tentoonstelling zijn ingericht waarin een aantal organisaties toont welke middelen zij hebben ontwikkeld voor het bepalen van beroeps- en leerplanprofielen. Hiermee wordt inzicht geboden in hoe deze organisaties bedrijven en onderwijsinstellingen kunnen ondersteunen bij het analyseren en formuleren van de behoefte aan opleidingen en van de gewenste opleidingsprogramma's.

Informatie en aanmelding

Stichting Toekomstbeeld der Techniek
 Postbus 30424
 2500 GK Den Haag
 Telefoon: 070 - 3919855
 Ir. H.B. van Terwisga
 S.A.I. Dees
 Deelnamekosten: circa f 300,—.

Cursusaankondigingen PATO

Plaatsnauwkeurigheid in Constructies en Mechanismen

Een vijfdaagse cursus op 26, 27 april, 4, 11 en 18 mei 1990 te Eindhoven.

Doelstelling:

De functies van een apparaat of een machine zijn vaak plaatsgebonden. Het beheersen van deze functies vraagt een zekere plaatsnauwkeurigheid.

Het doel van de cursus is het stimuleren van de wisselwerking tussen creativiteit en analyse bij het werktuigkundig construeren en het belichten van de samenhang met andere disciplines. M.a.w. het bevorderen van werktuigbouwkunde in de zin van "het bouwen van tuig dat werkt".

Bestemd voor:

constructeurs, ontwikkelaars en projectleiders op TU/HTO niveau, die betrokken zijn bij de ontwikkeling van werktuigen waarin hoge precisie een rol speelt. Dit kunnen zijn consumenten- en professionele producten of produktiemiddelen. Enige bekendheid met de dynamica en de regeltechniek is gewenst.

Cursusleider:

prof.dr.ir. M.P. Koster (Technische Universiteit Eindhoven, Philips Centre for Technology Mechatronics dpt.).

Data/plaats:

26, 27 april en 4, 11 en 18 mei 1990 aan de Technische Universiteit te Eindhoven.

Deelnamekosten:

f 2.135,— per persoon (geen BTW; incl. cursusmateriaal, lunches, koffie/thee).

Multivariabele en Stochastische Regelsystemen

Een vijfdaagse cursus op 24 april, 1, 8, 15 en 22 mei 1990 te Eindhoven.

Computational and Experimental Mechanics (CEM)

Een in 1990-1991 te verzorgen parttime post-doctorale beroepsopleiding, bestaande uit 15 ook los te volgen vijfdaagse cursussen.

Nadere informatie over deze cursussen kan worden opgevraagd bij het bureau van het Orgaan voor PATO, Postbus 30424, 2500 GK Den Haag, tel.: 070 - 3 64 49 57.

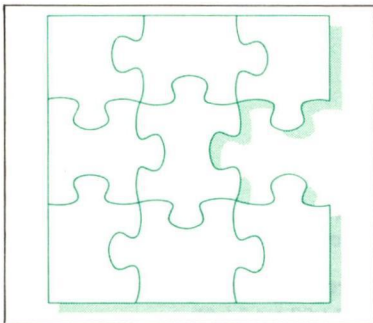
RECTIFICATIE

Bij het artikel "Magnetische valkuil voor waterstofatomen" in Mikroniek nr. 6 - 1989 is het volgende weggevalen:

"De magnetische valkuil is gebouwd met de hulp van een aantal mensen, met name van Jook Walraven, Otto Höpfner en Ron Manyuty (allen Universiteit van Amsterdam)."

In het artikel "Het ontwikkelen van implantaten" (Actueel nr. 6) wordt gesproken over een NVFT themadag. Dit moest zijn MCNL themadag.

Soms
ligt
er
maar
een
klein
stukje
tussen
probleem
en
oplossing.



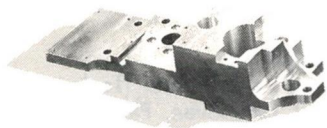
Soms ontbreekt het aan een specifiek stukje precisiewerk. De oplossing heeft u misschien in uw hoofd, maar niet in uw handen.

Leg uw probleem dan eens voor aan Dinfa, de meeden-

kende perfectionisten. Opdrachtgevers met uiteenlopende problemen helpen we aan elk gewenst onderdeel of apparaat, waarbij we al heel vroeg meedenken over de beste oplossing. Hoe de specificaties ook worden aangeleverd, Dinfa werkt ermee. Engineering verzorgen of testen? Co-makership? Met Dinfa als partner wordt het een stuk eenvoudiger!



Staatjes van vaak opvallende oplossingen tonen aan dat we er de mensen en de technische outillage voor hebben.

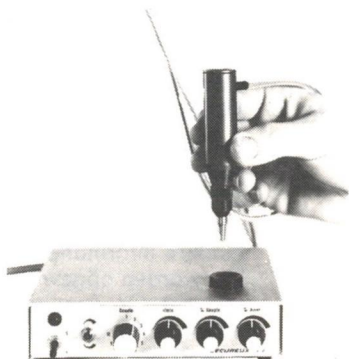


Dinfa: De passende oplossing voor uw probleem.



Fultonstraat 11, Postbus 45, 2690 AA 's-Gravenzande.
Telefoon 01748-14441. Telefax 01748-20100.

LECUREUX



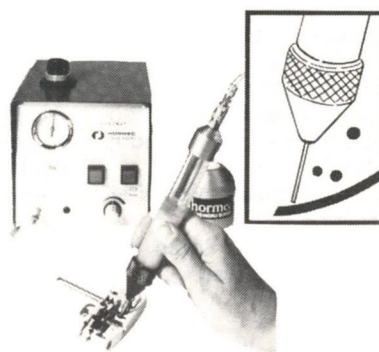
Elektronische schroevendraaiers en schroefautomaten voor kleine schroeven van M0,35 tot M3.

micro  montage

Postbus 3108
Tel. 02155-26400

3760 DC Soest
Fax 27200

hormec technic



Nauwkeurig en lekvrij doseren van olie, vet, lijm en pasta's met de doseerkoppen van Hormec Technic

Komponenten, handapparatuur en doseerautomaten.

micro  montage

Postbus 3108
Tel. 02155-26400

3760 DC Soest
Fax 27200

Micromechanica: ontwikkelingen, achtergrond, mogelijkheden*

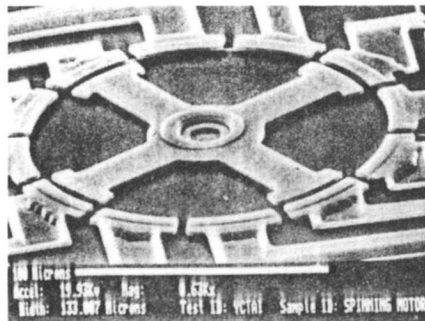
Ir. H. Leeuwis en Ir. E. van Woerkens,
Stichting Centra voor Micro-Elektronica.

De ontwikkelingen in de techniek van het verkleinen spelen al jaren een rol op het gebied van de micro-elektronica. Een goed voorbeeld van toenemende integratie van functies en componenten op een drager is het megabitgeheugen.

Bij de assemblageteknik van mechanische structuren kan men nog niet spreken van een vergelijkbare ontwikkeling en is men ruwweg in het stadium van 30 jaar geleden toen de eerste vormen van integratie van elektronische componenten ontwikkeld werden.

De laatste jaren wordt echter als uitvloeisel van de micro-elektronica ook aan verkleining en integratie van mechanische structuren gewerkt.

Daarbij wordt gebruik gemaakt van bepaalde mechanische en fysische eigenschappen van het silicium die minder van belang zijn bij de toepassing in de micro-elektronica. Vooral uit de ontwikkelingen op het gebied van sensoren en later ook van actuatoren is hieraan een sterke behoefte ontstaan. Mechanische structuren als een membraan of een in een veer opgehangen massa heeft men immers nodig om respectievelijk een druksensor of een versnellingsopnemer te maken, terwijl de batchgewijze, parallelle productie een goede reproduceerbaarheid en lage kosten per eenheid garandeert.



Figuur 1 Elektronenmicroscopie foto van een micromotor. De rotordiameter bedraagt 100 µm.

Uit: Micro Electro Mechanical Systems, IEEE Catalog Number 89TH0249-3, 20-22 Februari 1989, Salt Lake City, Utah; MEMS, p. 4.

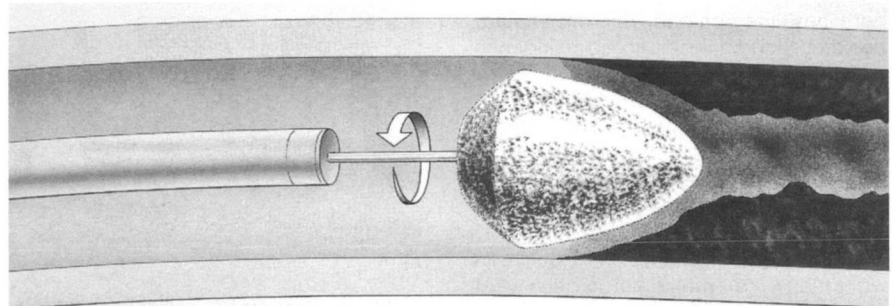
Aan deze op siliciumtechnologie gebaseerde ontwikkelingen van mechanische structuren werd een belangrijke impuls gegeven toen in 1987 op de grote internationale conferentie op het gebied van sensoren en actuatoren "Transducers" te Tokyo vrijliggende vormen zoals rotortjes, hefboompjes en schuifjes gepresenteerd werden; zie *figuur 1*. Met wat fantasie werd al gesproken over voor het blote oog onzichtbare microrobots, voortbewogen door micromotortjes, die in bloedbanen viruscellen aanvallen of kalkaanslag verwijderen; zie de *figuren 2 en 3*. Met deze uitdaging is een nieuwe revolutionaire ontwikkeling ontstaan: de micromechanica!

Als de micromechanica eenzelfde

ontwikkeling doormaakt als de siliciumtechnologie, dan zal rond de eeuwwisseling sprake zijn van ongekende toepassingsmogelijkheden, die ingrijpend zijn voor onze leefwijze.

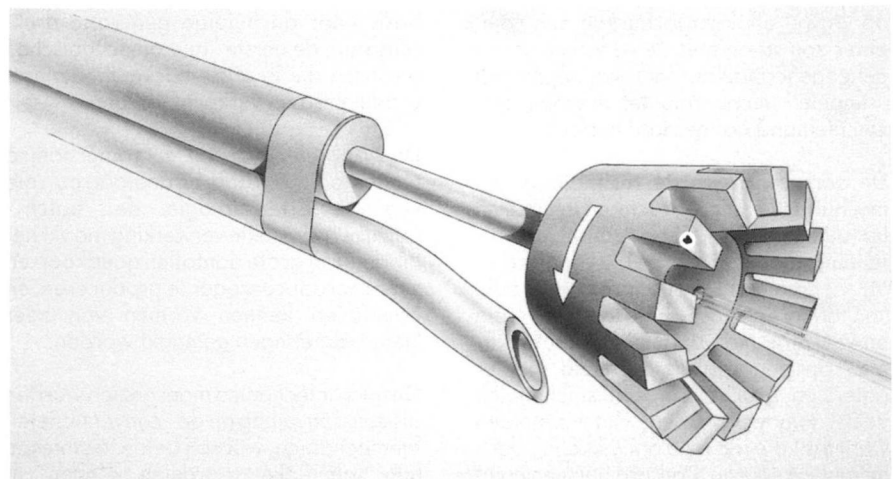
Micromechanica, een revolutionaire technologie

De kenmerken van de nieuwe ontwikkelingen geven aan dat men gerust kan spreken over een revolutionaire ontwikkeling. Het multidisciplinaire karakter bijvoorbeeld: siliciumtechnologie, materiaalkunde, (fijn)mechanica en elektronica komen hier samen en de op deze gebieden gezamenlijke R&D-activiteiten nemen sterk toe. Op de meest recente conferentie "Transducers" te Montreux



Figuur 2 Een mogelijke toepassing van het micromechanica: het schoonmaken van dichtgeslibte aderen.

Tekening: Centrum voor Micro-Elektronica (CME) Twente.



Figuur 3 Micromechanica zou ook gebruikt kunnen worden voor het maken van een speciale frees voor microchirurgische ingrepen aan, bijvoorbeeld, de hersenen of het binnenoer.

Tekening: CME Twente.

Micromechanica

van eind juni 1989 was een groot deel van de voordrachten gebaseerd op de ontwikkeling van micromechanische structuren!

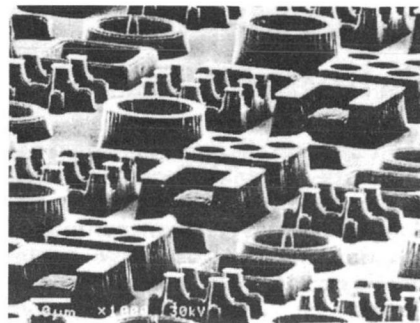
Met de grote doorbraken in de technologie-ontwikkelingen, zoals het maken van vrijbewegende structuren, gaat een nieuwe klasse van producten ontstaan. Met name op het gebied van sensoren en actuatoren worden heel concrete toepassingen tegemoet gezien.

Men ziet op middellange termijn toepassingen voor "simpele" manipulators, vooral in het optische gebied, voor bijvoorbeeld de positionering van fibers in de geïntegreerde optica. Hiermee zou een belangrijk struikelblok weggenomen zijn voor de toepassing van deze technologie, die eigenlijk alleen op laboratoriumschaal tot geweldige resultaten komt. Op lange termijn zullen vooral in de medische sfeer bestaande limieten verschuiven aangezien daarbij de uiterst kleine afmeting van groot belang is.

Gedacht wordt aan diagnostische en therapeutische catheters, implanteerbare (insuline)pompen, micromanipulatie van cellen en vezels. Toepassingen in wetenschappelijke instrumenten (voor ruimteonderzoek), in productie-apparatuur voor IC's, en tot slot in consumenten-apparatuur. Opvallend aan dit rijtje is dat er geen toepassingen in een concrete vorm genoemd worden, afgezien van de implanteerbare insulinepomp.

Ook zullen nieuwe behoeften ontstaan waar men op dit moment nog geen weet van heeft. Terugkijkend in de geschiedenis zijn voldoende voorbeelden aan te wijzen waaruit blijkt dat in tien tot vijftien jaar ontwikkelingen kunnen plaatsvinden die niemand voor mogelijk hield. Als men tien jaar geleden gezegd had dat in 1989 op vrijwel elk kantoorbureau een computer zou staan met de verwerkings- en geheugencapaciteit van wat wij nu een "simpele" microcomputer noemen, dan zou niemand dat geloofd hebben.

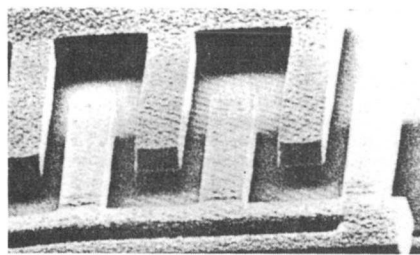
De oorsprong van de technologie om mechanische microstructuren te maken ligt bij een aantal Amerikaanse universiteiten zoals die van Berkeley, Stanford en M.I.T., en onderzoekslaboratoria als die van IBM in San José. In de jaren zeventig ontwikkelde men daar processen waarmee op een reproduceerbare manier gaten en groeven in een siliciumplak geëst konden worden. Het vermelden waard uit die tijd is de ontwikkeling door medewerkers van Stanford van een complete gashromatograaf, in zijn geheel geïntegreerd op een enkele siliciumschijf (wafer). De techniek om op die manier dunne membranen te maken vormde de



a)



b)



c)

Figuur 4 (a-c) Deze elektronenmicroscopfoto's tonen welke veelheid aan vormen en structuren er met micromechanica gemaakt kunnen worden. Uit: MEMS, pag. 57.

basis voor de huidige generatie druk-sensoren, de eerste "micromechanische" sensoren die in grote hoeveelheden geproduceerd en verkocht worden.

De voordelen van de micromechanica technologie zijn daarbij analoog aan die van de IC-technologie: de "batch"-gewijze, parallelle verwerking maakt het mogelijk in grote aantallen goedkoop en zeer reproduceerbaar te produceren, en bovendien kunnen vormen van zeer kleine afmetingen gemaakt worden.

De micromechanica moet gezien worden als een aanvulling op de "conventionele" fijnmechanica, waarbij beide technieken hun specifieke voordelen kennen. In dimensies gezien is er een overgangsgedebied waarin beide technieken toegepast kunnen worden, zo rond afmetingen van 0,1 tot 1,0 mm. Een voorbeeld hier-

van is de minimicrofoon, die nu nog in conventionele techniek vervaardigd wordt, maar die straks micromechanisch geproduceerd zal worden. Dit wordt verderop in dit artikel beschreven.

De micromechanica-technologie stelt ons in staat allerlei kleine vormen te maken. Voorbeelden zijn naast de al eerder genoemde membranen zeer kleine gaten en groeven, balken, veren, vrijliggende structuren en assen, zie *figuur 4*. Hiermee zijn allerlei bruikbare componenten (geïntegreerd) te vervaardigen zoals tralies, diafragma's, filters, resonerende structuren, tandwielletjes, overbrengingen en actuatoren (roterend en translaterend). Kenmerkend is dat veel van deze mogelijkheden nog geen toepassing in de praktijk hebben - wat moet men met een micromotor? De producten die op dit moment verkocht worden maken slechts gebruik van de simpelste vormen van de micromechanica, zoals in de membraandruksensor.

Omdat de achtergrond de siliciumtechnologie is, is het vanzelfsprekend dat nu toe voornamelijk silicium als materiaal gebruikt wordt. Enerzijds omdat bestaande apparatuur gebruikt kan worden om de standaard siliciumplakken te verwerken. Anderzijds omdat silicium gunstige materiaaleigenschappen heeft. Een aantal belangrijke mechanische eigenschappen (breuksterkten, buigwielsterkte) zijn beter dan van bijvoorbeeld staal. Dit is onder andere te danken aan het feit dat op microscopische schaal de kans op aanwezigheid van kristalfouten, de oorzaak van breuken en vervormingen, in het zeer zuivere, monokristallijne silicium verwaarloosbaar klein is.

Een andere eigenschap die silicium aantrekkelijk maakt is de piezo-resistiviteit: de (grote) variatie van de elektrische weerstand als functie van de mechanische spanning. Hiermee is een vervorming van een membraan als gevolg van een kracht of druk eenvoudig om te zetten in een elektrisch signaal door piezo-weerstanden te integreren. Er zijn verder nog vele andere bruikbare transductie-effecten in silicium: b.v. het Hall-effect voor magnetische sensoren of het Seebeck-effect voor sensoren gebaseerd op thermische principes.

Al eerder dan silicium werd monokristallijn kwarts micromechanisch toegepast in de elektronica vanwege de piezo-elektrische eigenschappen - mechanische vervorming veroorzaakt een elektrische spanning en omgekeerd, het principe dat

Definities

Om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de (Engelstalige) vakpublicaties, zal veelvuldig gebruik gemaakt worden van termen in de Engelse taal. Een paar belangrijke begrippen worden hieronder gedefinieerd.

- **Micromechanica:**
De wetenschap, de technologie en het ontwerpen van microstructuren in dragermateriaal. Hierbij wordt gebruik gemaakt van vervaardigingstechnieken als "micromachining" en "wafer-bonding".
- **Micromachining:**
De techniek om driedimensionale microstructuren te maken met fotolithografie, ets- en depositietechnieken. Er wordt vooral gebruik gemaakt van silicium, in mindere mate van kwarts. Er zijn twee vormen te onderscheiden: "bulk-micromachining" en "surface-micromachining".
- **Bulk-micromachining:**
Vorming van driedimensionale structuren *in* de siliciumplak, door silicium weg te etsen.
- **Surface-micromachining:**
Vorming van driedimensionale structuren *op* de siliciumplak, door lagen op te brengen, of *aan het* oppervlak van de siliciumplak, door verschillende doteringen aan te brengen.
- **Wafer-bonding:**
De techniek om plakken van silicium en/of glas aan elkaar te hechten.

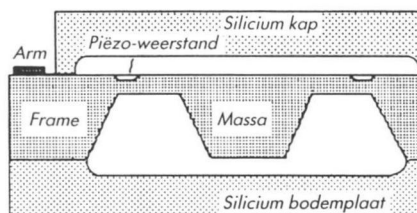
bijvoorbeeld wordt gebruikt in gasaanstekers - om filters en resonatoren (voor horloges) te maken. De afwezigheid van piëzo-elektriciteit in silicium is overigens een belangrijke drijfveer om andere materialen, die compatibel met de siliciumtechnologie zijn, te zoeken en toe te (gaan) passen voor het maken van actuatoren.

Voorlopig zal echter de micromechanica vooral betrekking hebben op silicium, zeker ook als men denkt aan de mogelijkheden die geïntegreerde systemen ("smart sensors" en sensor/actuator combinaties met micro-elektronica op dezelfde chip) in de toekomst zullen bieden.

Bij de omschrijving is het zinvol de *vervaardigingstechnologie* te onderscheiden als onderdeel van het micromechanische vakgebied waarin ontwerp en modelvorming naast vervaardiging belangrijk zijn. Zie het kader "definities". In grote lijnen is de micromechanica-technologie in twee soorten vervaardigingstechniek in te delen: "bulk"-micromachining en "surface"-micromachining. Bulk-micromachining is het vormgeven *in* de siliciumplak zelf. Het eenvoudigste voorbeeld hiervan is het membraan van een druksensor, dat door middel van ets-technieken in de siliciumplak gevormd wordt.

Daarbij bestaan er (hulp)technieken als "anodische bonding" en "fusie bonding" om siliciumplakken en glasplakken aan elkaar te hechten zonder gebruik te maken van lijm. Deze technieken vergroten aanzienlijk de mogelijkheden om batch-gewijs driedimensionale vormen te maken. Er zijn bijvoorbeeld geheel geïsoleerde holtes achter membranen te maken. Dit wordt al toegepast in een commerciële absolute druksensor van het Amerikaanse bedrijf NovaSensor en in een versnellingsopnemer van IC-Sensors, zie *figuur 5*.

Een nieuwe ontwikkeling is surface-micromachining, waarbij *op* of *aan* het oppervlak van de plak een driedimensionale structuur gevormd wordt. De toegepaste "sacrificiale lagen" (offerlagen) worden selectief weggeëtsd, zodat vrijwel of geheel vrijliggende structuren,



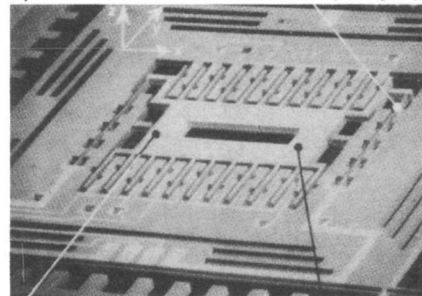
Figuur 5 Schema van een accelerometer. Uit: Produktfolder van het "Institut de Recherche Technologique et de Développement Industriel".

zoals een rotor voor een micromotor, gevormd worden.

Op dit moment zijn de commercieel verkrijgbare sensoren op basis van micro-mechanica voornamelijk beperkt tot druksensoren. Naast deze "bekende" druksensoren verschijnen de laatste paar jaar versnellingsopnemers op de markt die micromechanisch een meer ingewikkelde structuur hebben dan druksensoren. De kern van een versnellingsopnemer is een relatief grote massa, verend opgehangen in de silicium-bulk. De uitwijking ervan onder invloed van een versnelling wordt capacitief of met behulp van piëzo-weerstanden gemeten, zoals dat ook bij de druksensoren gebeurt. Bij het capacitieve type wordt meestal gebruik gemaakt van een gebonde tweede plak of glasplaat waarop de andere elektrode aangebracht is.

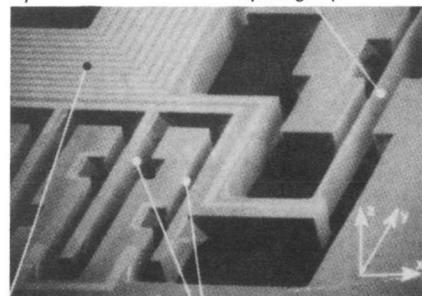
Een verfijning van dit type is een versnellingsopnemer waarin een actuator is opgenomen die via een regelkring de massa op dezelfde plaats houdt ("feedback" sensor). Eigenlijk bestaat zo'n sensor uit een sensor-actuator systeem. De toepassing van terugkoppelingsprincipes zal door de snelle technologische ontwikkelingen sterk toenemen omdat hiermee zeer hoge nauwkeurigheden bereikt kunnen worden; zie *figuur 6*. Een

a) Ophangstrip



Terugkoppelspoel Bewegende massa

b) Ophangstrip



Terugkoppelspoel Capacitieve verschilopnemer

Figuur 6 (a-b) Een accelerometer met terugkoppeling. Detail.

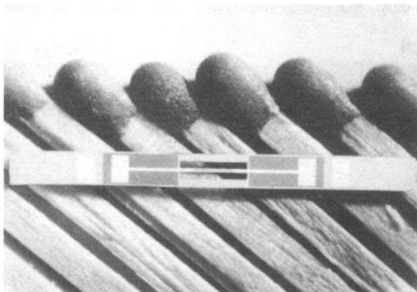
Uit: Produktfolder van het "Institut de Recherche Technologique et de Développement Industriel".

Micromechanica

stap verder (in de toekomst) zijn sensor-systemen die zichzelf testen en kalibreren.

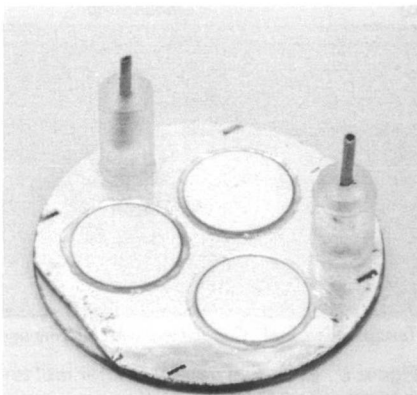
Er zijn tal van andere principes om "micromechanische" sensoren te maken. Thermische en resonerende principes nemen hierbij een belangrijke plaats in. Bij de thermische principes is het belangrijk een driedimensionale vorm te maken waarin een lichaampje zoveel mogelijk thermisch geïsoleerd is van de bulk. Door toepassing van thermozuilen - een serie-schakeling van thermokoppels vervaardigd in dunnefilm-techniek - kunnen dan allerlei sensoren gemaakt worden, zoals voor straling (IR), (massa)stroming, vacuümdruk en gassoort. De TU Delft verricht veel onderzoek aan dergelijke sensoren.

Bij het resonerende principe moet een structuur vervaardigd worden die verend kan bewegen ten opzichte van de bulk. Met een thermische ("bimetaal"-principe) of piëzo-elektrische actuator wordt de resonator aangestuurd. Verandering van de mechanische spanning of de resonator heeft tot gevolg dat de resonantiefrequentie verschuift. Zonodig gecombineerd met andere



Figuur 7 Een krachtensor met resonerende balk.

Foto: H. van Wolferen, TTF, Enschede.



Figuur 8 a. Een complete piëzo-elektrische pomp.

b. Schematische doorsnede van de pomp.

Uit: CME Twente.

principes zijn zo druk-, kracht- en stromingssensoren te maken, die naast de hoge gevoeligheid als groot voordeel een frequentie-output hebben. Deze heeft de potentie van een zeer groot dynamisch bereik en sluit goed aan bij de steeds verder voortschrijdende digitale verwerkingstechnieken. Het trillende lichaam kan een simpel membraan zijn, of een balk die aan een of beide kanten vastzit aan de bulk. Hiernaast op de foto is een krachtensor te zien die (nog) verder geminiaturiseerd dienst zou kunnen doen als zeer gevoelig rekstrookje (figuur 7, zie kader "krachtensor"). De bewegingsrichting is loodrecht op het planaire vlak, zoals die van een membraan in een druksensor.

Met behulp van surface-micromachining, waarin "echte" veren gerealiseerd kunnen worden, zijn inmiddels zeer ingewikkelde constructies mogelijk die in het planaire vlak bewegen.

"Resonerende" sensoren staan op onderzoeksniveau volop in de belangstelling, in Nederland met name aan de Universiteit Twente. Voor commercialisering zullen problemen op het gebied van de verpakking en behuizing (mechanische spanningen), reproduceerbaarheid en temperatuureffecten overwonnen moeten worden. Met verpakking wordt hier bedoeld het afschermen van het elektrisch deel van een sensor van de omgeving en met behuizing de constructie om de sensor plus de verpakking heen teneinde de sensor te kunnen aansluiten aan de omgeving.

De actuatortechnologie die niet ver van toepassing is, heeft vooral betrekking op doseersystemen, pompen en kleppen, waarbij vooral de medische markt vrager is. In het silicium worden kanalen, gaten en klepzittingen geëtst, waarna door hechting van verschillende plakken op elkaar complete pomplichamen ge-

construeerd worden. Het grootste probleem hierbij is de actuator. Er wordt meestal gewerkt met piëzo-elektrische principes, die echter (nog) niet goed realiseerbaar zijn in planaire technologie in het geval dat relatief grote vermogens vereist zijn. Men gebruikt daarom bulk-piëzokristallen die gelijmd worden, zie figuur 8. Hoewel deze hybride-oplossing niet ideaal is, zijn midden jaren zeventig met deze technologie "ink-jet nozzles" (de actuator waarmee inkt op het papier gespoten wordt) ontwikkeld, die nu in veel ink-jet printers worden toegepast.

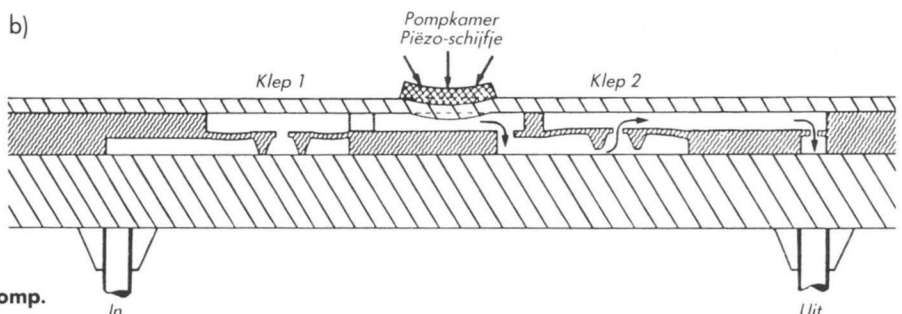
Er lopen onderzoeken naar andere, integreerbare actuatorprincipes, zoals een afgesloten kamer met gas of vloeistof die onder invloed van opwarming met een geïntegreerde weerstand uitzet (zie kader "geïntegreerde pomp").

Deze problematiek geeft aan dat in de toekomst onderzoek aan en ontwikkeling van integreerbare actuator-elementen en -materialen een belangrijk onderwerp zal zijn.

Micromechanica, technische achtergrond

De technologie van micromechanica wijkt sterk af van de technieken die doorgaans gebruikt worden voor het maken van mechanische constructies. In dit tweede hoofdstuk wordt daarom dieper op de technologie ingegaan; het is dan ook wat technischer van karakter dan de overige hoofdstukken in dit artikel. Omdat bij de micromechanica-technologie voornamelijk silicium een rol speelt, zullen wij hier silicium als uitgangspunt gebruiken.

De siliciumplakken zijn in verschillende grootten leverbaar. Standaard maten zijn diameters 2, 3, 4, 5, 6 inch met oplopende dikte van 0,2 tot 1,0 mm. De plakken zijn monokristallijn met een kubisch rooster en verkrijgbaar in verschil-



lende typen waarbij de oppervlakken in een bepaald kristalvlak liggen, te weten (111), (100) en (110). Dit laatste is belangrijk voor het anisotroop etsen (zie ook hierna "etstechnieken"). De platte vorm maakt een planaire bewerking en batch-verwerking mogelijk, die ook toegepast wordt bij de vervaardiging van geïntegreerde schakelingen.

Er zijn grofweg een viertal basistechnieken te onderscheiden die achtereenvolgens aan de orde komen:

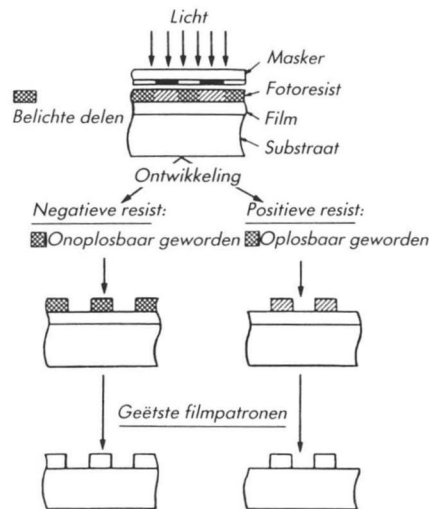
- Fotolithografie
- Etstechnieken
- Depositie en vorming van lagen
- Bonding-technieken

Tot slot wordt ter illustratie het vervaardigingsproces van een miniatuur microfoon beschreven.

Fotolithografie

Deze vormgevingstechniek uit de grafische industrie heeft aan de basis gestaan van de IC-technologie. Met als doel steeds kleinere structuren op en in silicium te maken, heeft de fotolithografie een enorme progressie gemaakt. Het bekende Mega-project van Philips en Siemens bestaat voor een groot deel uit de ontwikkeling van fotolithografie-apparatuur die geschikt is om structuren te maken die kleiner zijn dan een micrometer. Bedenk hierbij dat een mensenhaar een diameter heeft van 100 micrometer!

Bij de technologie voor sensoren, actuatoren en de micromechanica zijn deze kleine afmetingen (nog?) niet nodig. Voor de fotolithografie zijn fotografische maskers nodig, die op een glasplaat vervaardigd worden. Dit geschiedt computergestuurd met speciale ontwerpprogramma's waarmee het gewenste patroon getekend wordt. De plak die bewerkt moet worden, wordt voorzien van een UV-lichtgevoelige polymeerlaag met een dikte van enkele micrometers. Deze "fotorezist" wordt opgebracht door de plak te dompelen ("dip coating") of door "spinnen" waarbij de plak met een druppel fotorezist erop snel (ca. 4000 r/min) rondgedraaid wordt. In een speciaal apparaat, de "mask aligner", wordt de plak via het masker belicht; zie *figuur 9*. Hierbij kan het masker zeer nauwkeurig gepositioneerd worden om het maskerpatroon uit te richten op de structuren die in vorige behandelingen vervaardigd zijn. De belichting heeft tot gevolg dat de fotorezist chemisch van structuur verandert. Hierdoor lost de resist al dan niet, afhankelijk van de soort (positieve of negatieve resist), op in een



Figuur 9 Het fotolithografische proces met positieve en negatieve resist. Uit: CME Twente.

speciale "ontwikkelaar". Er resulteert een plak met een resistpatroon dat overeenkomt met het maskerpatroon. Deze resistlaag wordt bij een temperatuur van 130 °C uitgehard en is dan resistent tegen bepaalde etsvloeistoffen. De niet door resist bedekte delen van lagen, bijvoorbeeld van siliciumdioxide, kunnen vervolgens weggeëtsd worden. De laatste stap betreft het verwijderen ("strippen") van de fotorezist.

Etstechnieken

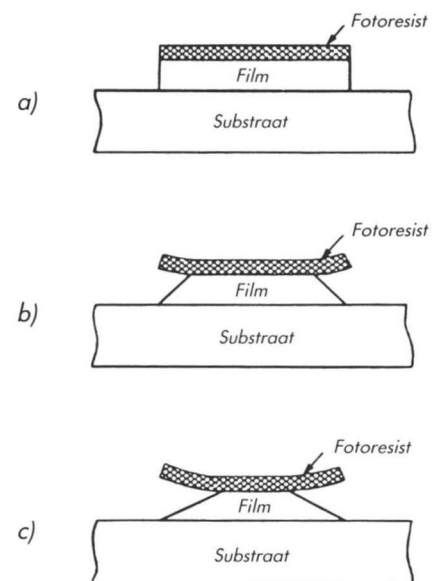
Het etsen van de vrijliggende delen van lagen of van de siliciumbolk zelf kan op een aantal manieren gebeuren, die in twee groepen verdeeld kunnen worden: nat-chemische en droge etstechnieken.

Nat-chemische etstechnieken

Hierbij wordt de laag die verwijderd moet worden geëtsd met een chemisch reactieve oplossing, bijvoorbeeld een zuur of een base. Nat-chemisch etsen van silicium biedt vele mogelijkheden om driedimensionale structuren te vervaardigen doordat verschillende etssnelheden optreden afhankelijk van de kristaloriëntatie en het gebruikte etsmiddel. De snelheid van etsen van de (100)-vlakken is bijvoorbeeld 500 maal groter dan van de (111)-vlakken. Hierdoor is het mogelijk "anisotroop" te etsen. In een (100)-plak ontstaat bijvoorbeeld bij een smalle rechthoekige maskeropening een v-groef die niet verder etst, met de kenmerkende schuine wanden van ca. 54 graden. Bekende anisotrope etsmiddelen zijn oplossingen van ethyleen-diamine-pyrocatechol,

kortweg EDP genoemd, en kaliumhydroxyde (KOH).

Een belangrijk nadeel van nat-chemisch etsen is dat er meestal sprake is van "onderetsing", hetgeen wil zeggen dat onder het resistpatroon ook wordt geëtsd, waardoor het gevormde patroon in de laag niet precies dezelfde afmetingen heeft als het resistmasker, zie *figuur 10*.



Figuur 10 Het optreden van onderetsen. a. ideale ets, b. normale onderetsing, c. sterke onderetsing. Uit: CME Twente.

De diepte van een geëtsde holte is een functie van de etstijd en de samenstelling en temperatuur van de etsoplossing. Deze is onder vaste omstandigheden redelijk reproduceerbaar. Er zijn echter ook nauwkeuriger etsstoptechnieken. In een sterk gedoteerde - doteren is een standaardtechniek in de IC-technologie om transistoren te maken, waarbij fosfor of borium in het silicium wordt "ingebouwd" - laag is de etssnelheid van EDP een factor 200 lager dan in ongedoteerd silicium. Het etsen stopt dus wanneer zo'n gedoteerde laag bereikt wordt. Op deze manier zijn heel dunne membranen te maken (ca. 1 micrometer) met een dikte bepaald door de gedoteerde laag. Dat is met tijdsbepaling niet reproduceerbaar mogelijk. Door het aanleggen van potentiaalverschillen over overgangen in doteringen zijn nog specifiekere etsstoppen mogelijk ("electrochemical etch stop").

Omdat de gangbare fotorezistmate-

Micromechanica

rielen niet bestand zijn tegen de silicium-etsmiddelen is het etsen van siliciumdioxide van speciaal belang voor micromachining. De genoemde silicium-etsmiddelen tasten het dioxyde niet aan zodat het als maskermateriaal gebruikt kan worden. Het dioxyde zelf wordt geëtsd in een waterstoffluoride-oplossing (HF), die geen effect heeft op het silicium en op de resist.

Belangrijk voor de surface-micromachining is het etsen van de "sacrificial"-laag. Deze hulplaaag, meestal met een dikte in de orde van een paar micrometer, moet tussen twee andere (dunne) lagen weggeëtsd worden om een vrijliggende structuur te realiseren. Eigenlijk is er sprake van een extreem geval van onderetsing. Veel gebruikte materialen voor de sacrificial-lagen zijn siliciumdioxide, aluminium en PSG (fosforsilicaatglas). Voorwaarde is dat de etsoplossing een grote verschil in etssnelheid ("selectiviteit") vertoont tussen het materiaal van de sacrificial-laag en de rest van de structuur (van silicium). Oplossingen van waterstoffluoride hebben deze eigenschap.

Door lagen met verschillende doteringen toe te passen en als sacrificial-laag te gebruiken kunnen aan de oppervlakte, tot enkele micrometers diep, van de siliciumplak driedimensionale structuren getst worden.

Droge etstechnieken

Deze etstechnieken zijn recenter ontwikkeld en hebben als groot voordeel dat minder onderetsing optreedt. Daardoor neemt het belang van deze technieken voor de IC-technologie, waarin steeds kleinere structuren nodig zijn, sterk toe. Voor micromachining zijn ze (nog) van ondergeschikt belang, maar voor de volledigheid zullen we ze kort toelichten.

Door beschieten van de plakken met inerte edelgas-ionen met een hoge energie worden lagen (fysisch) geëtsd ("sputter etching" of "ion milling"). Deze beschieting wordt vaak gerealiseerd in een gasontladingconfiguratie. Er is hierbij geen sprake van onderetsing, wat betekent dat er rechte wanden gerealiseerd kunnen worden. Een nadeel is de lage selectiviteit ten opzichte van de maskerlaag van resist of ander materiaal (oxyde, metaal), waardoor de etsdiepte beperkt is. Verder is het mogelijk reactieve ionen te gebruiken die (ook) een chemische etsing tot gevolg hebben ("reactive ion etching"). Op deze manier is een grotere selectiviteit te bereiken.

Depositie en vorming van lagen

Hierbij worden op (of in) de siliciumplak lagen gevormd. Deze technieken zijn vooral belangrijk bij surface-micromachining, waarbij op de siliciumplak structuren gevormd worden.

Voor bulk-micromachining is, zoals eerder naar voren is gekomen, vooral siliciumdioxide van belang als etsmasker. Dit dioxyde wordt meestal gevormd door "stoomoxydatie". Er wordt onder hoge temperatuur (ca. 1100 °C) stoom over de plak geleid, waardoor de oppervlakte laag oxydeert tot siliciumdioxide.

De belangrijkste depositie- en vormingstechnieken zijn:

- PVD: "physical vapour deposition" (opdampen en sputteren),
- CVD: "chemical vapour deposition",
- epitaxiale groei.

Bij de fysische technieken worden atomen losgemaakt uit een bron: bij opdampen door de bron op hoge temperatuur te brengen, bij sputteren door de bron ("target") te beschieten met ionen in een gasontladingconfiguratie. Deze (clusters van) atomen slaan vervolgens neer op de (relatief) koude siliciumplak. Allerlei materialen (metalen, isolatoren) worden op deze manier opgebracht.

Bij de chemische depositie worden in een reactor gassen over de plak geleid die ter plaatse van de plak reageren en neerslaan. Polykristallijn silicium (poly-Si) wordt zo opgebracht; dit wordt toegepast bij surface-micromachining. Allerlei oxyden, siliciumdioxide en -nitride, metaaloxiden, lenen zich goed voor deze depositiemethode.

Bij epitaxiale groei wordt onder speciale omgevingsomstandigheden in een reactor uit de gasfase een monokristallijne siliciumlaag "gegroeid" die aansluit op het kristalrooster van de siliciumplak.

Bonding-technieken

Bonding is een techniek om siliciumplakken en glasplakken aan elkaar te hechten zonder gebruik te maken van "lijm". Hiermee worden de mogelijkheden om driedimensionale structuren te maken vergroot. Door de plakken goed op elkaar te brengen kan door middel van elektrostatische kracht en verhoogde temperatuur (ca. 300 °C) een chemisch proces teweeggebracht worden waardoor de grensvlakken (min of meer) verdwijnen. Dit "anodisch bonding" is mogelijk bij een overgang van silicium-glas en van silicium-siliciumoxyde.

Bij hoge temperatuur (ca. 1100 °C) is het ook mogelijk om overgangen van silicium-silicium te hechten ("silicon fusion

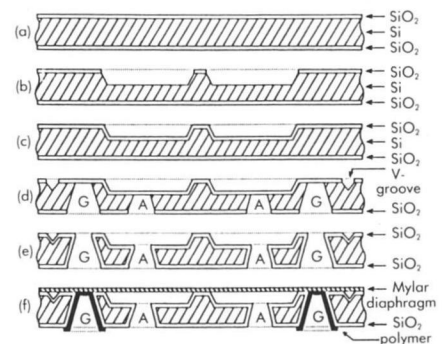
bonding" of "wafer bonding"), zonder gebruik te maken van de elektrostatische kracht. Voorwaarde is dat de oppervlakken extreem schoon zijn. Deze laatste techniek is in korte tijd opgekomen, met name door onderzoek bij de Amerikaanse sensorproducent NovaSensor.

Verder wordt er geëxperimenteerd met tussenliggende hechtlagen, die onder verhoogde temperatuur (ca. 500 °C) "versmelten" met de plakken.

Vervaardiging van een minimicrofoon

Dit is een illustratief voorbeeld van het gebruik van micromechanica. De minimicrofoon is een zeer kleine akoestische sensor gebaseerd op het condensator-elektreet principe. De microfoon bestaat uit een starre achterplaat vervaardigd met behulp van micromachining in silicium, en een opgespannen membraan van mylar met een geleidende laag van goud erop; zie *figuur 11*. Dit geheel vormt een condensator waarvan de capaciteit varieert wanneer geluid het membraan in trilling brengt. Ter vervanging van een externe spanningsbron is een "elektreet"-laag van siliciumdioxide in de microfoon opgenomen, die opgeladen kan worden tot een spanning van enkele honderden volt. Ook de resterende stappen om de microfoon te vervaardigen (voor de elektreet, de belading en het membraan) zijn zodanig van opzet dat ze compatibel zijn met de siliciumtechnologie, zodat de microfoons in batches vervaardigd kunnen worden. Belangrijke voordelen van de aldus vervaardigde minimicrofoon zijn de lage prijs, hoge reproduceerbaarheid en kleine omvang.

De microfoon is ontwikkeld voor hoortoestellen, waarin gewoonlijk microfoons toegepast worden, die met behulp van fijnmechanische bewerkings- en assemblagetechnieken vervaardigd zijn.



Figuur 11 (a-f) De vervaardigingsstappen van de minimicrofoon.
Uit: CME Twente.

De vervaardiging van de achterplaat is een mooi voorbeeld van micromachining. De achterplaat heeft als kenmerken, zie de figuren 11 en 12:

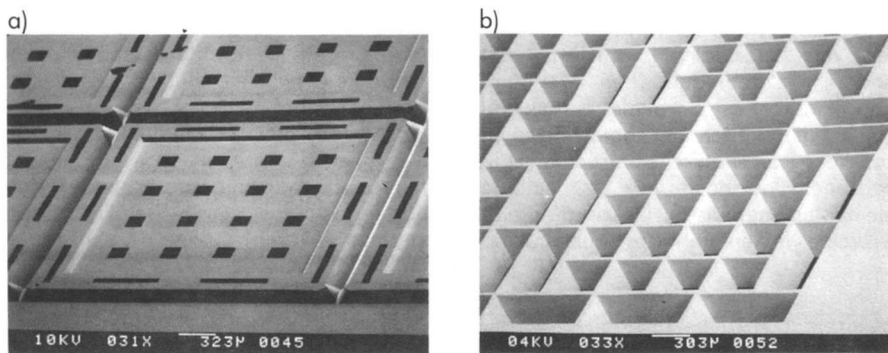
- een holte (cavity) die de afstand bepaalt tussen de elektroden (de bodem van de holte en de geleidende laag op het membraan); in deze holte kunnen eventueel pyramidevormige membraansteunpunten aanwezig zijn;
- "akoestische" gaten in de bodem van de holte om drukopbouw te voorkomen en waardoor bewegingen van het membraan zo min mogelijk gedempt worden;
- hechtgaten om het opgeklemde membraan te bevestigen door via de achterkant een hechtmiddel aan te brengen;

- smalle v-groeven aan de bovenkant om het scheiden van de microfoons door middel van breken te vergemakkelijken.

Dit geheel wordt met fotolithografie en door afwisselend (anisotroop) etsen en oxyderen van silicium gevormd.

In de eerste tekening is een doorsnede van een thermisch geoxydeerde plak weergegeven, zie *figuur 11a*. Na vormgeving van het oxyde met behulp van fotolithografie en etsen in waterstof-fluoride, wordt het silicium op tijd anisotroop geëtsd in kaliumhydroxyde zodat er een holte met een diepte van 20 micrometer ontstaat met de typerende schuin aflopende wanden, zie *figuur 11b*. De plak wordt weer geoxydeerd (*figuur 11c*)

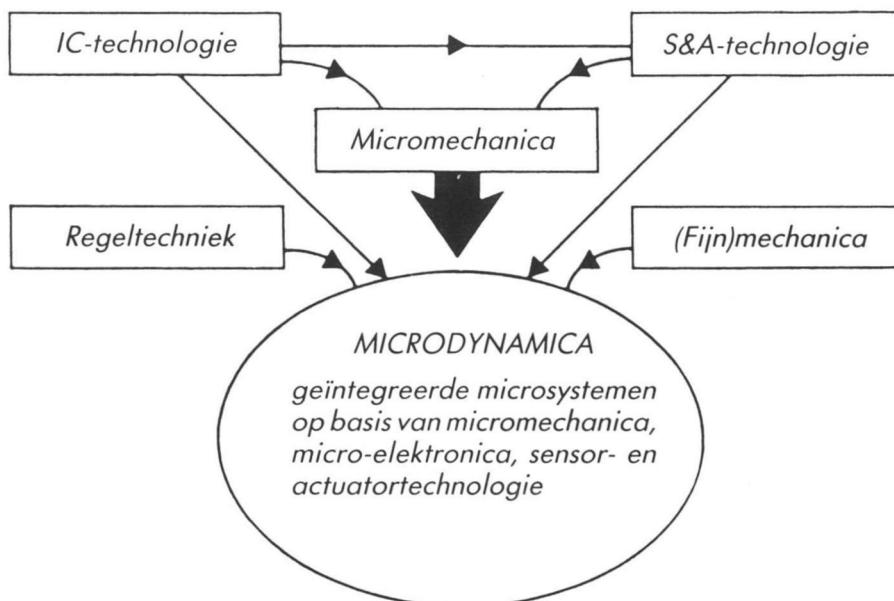
en vervolgens aan beide zijden fotolithografisch bewerkt en geëtsd zodat in het dioxyde de openingen ontstaan voor de v-groeven, lijmgaten en akoestische gaten. Vervolgens wordt er (langdurig) geëtsd tot de gaten "door" zijn; het etsen van de v-groeven stopt automatisch als gevolg van het anisotroop etsen, zie *figuur 11d*. Het rest-oxyde wordt weggeëtsd, waarna de plak opnieuw geoxydeerd wordt, zie *figuur 11e*. De starre achterplaat is nu klaar. Het dioxyde in de holte kan na een speciale behandeling opgeladen worden tot een paar honderd volt. Het mylar membraan wordt via de lijmgaten door het verstuiven van een polymeer vastgezet. Een bovinelektrode van goud, dat wordt opgedampt door een schaduwmasker, completeert de microfoon.



Figuur 12 a. Elektronenmicroscopfoto van de bovenzijde van de minimicrofoon. Duidelijk te herkennen zijn de vierkante akoestische gaten in de holte, de langwerpige hechtgaten en de v-groeven.
b. De onderzijde van de minimicrofoon.
Foto's: Universiteit Twente.

Van micromechanica naar microdynamica

Het is duidelijk uit de vele voorbeelden van het vorige hoofdstuk dat de mogelijkheden met micromechanische structuren talrijk en divers zijn. De ontwikkelingen op de gebieden van micro-elektronica, sensoren, actuatoren en micromechanica zullen gezamenlijk leiden tot geïntegreerde microdynamische systemen.



Figuur 13 De relatie van microdynamica met andere technologieën en technieken.
Uit: CME Twente.

Het is daarom zinvol om een apart vakgebied te definiëren, dat **microdynamica** genoemd wordt. De National Science Foundation (NSF) in de Verenigde Staten heeft in een rapport ("Small machines, large opportunities: a report on the emerging field of microdynamics") hiertoe de aanzet gegeven. Vele disciplines zullen in dit vakgebied verenigd zijn, voortkomende uit "klassieke" vakgebieden als de elektrotechniek, chemie, werktuigbouwkunde, materiaalkunde en wiskunde; zie *figuur 13*.

Als gesproken wordt over microdynamische systemen dan zal allereerst een idee gevormd moeten worden over welke afmetingen het gaat. Ruwweg kan gesteld worden dat deze zullen liggen tussen de afmetingen die met conventionele (fijnmechanische) fabricagemethoden bereikt kunnen worden als maximum en vermoedelijk de afmetingen van biologische systemen zoals cellen als minimum.

Een volgende vraag is of de miniaturisatie vanuit de fijnmechanica, met "klassiek" materiaalgebruik van bijvoorbeeld metalen en kunststoffen, meegenomen moet worden of niet. Historisch gezien is de micromechanica voortgekomen uit de toenemende vraag naar miniaturisatie

Micromechanica

van fijnmechanisch geconstrueerde sensoren en actuators, bijvoorbeeld in robotsystemen. Gezien de voordelen van het batchgewijs en parallel produceren met behulp van etstechnieken en andere op micro-elektronica gelijkende technieken wordt (voorlopig) hiertoe beperkt. Het is niet uit te sluiten dat in de toekomst nieuwe materialen en andere bewerkingstechnieken toegevoegd worden.

Om in de toekomst gericht aan toepassingen te kunnen werken moet er eerst een "science base" komen. Een gegeven is dat veel wetenschappelijk onderzoek nog nodig is om de ontbrekende gegevens te leveren, bijvoorbeeld naar materiaaleigenschappen en standaardisering van de meetmethoden hiervan.

De ervaringen in en de constanten die voor de macrowereld gelden zijn op microschaal (vaak) niet toepasbaar. Effecten als mechanische spanning en vervorming zijn niet goed bekend of voorspelbaar, waardoor structuren soms vervormen. Wat dit aspect betreft is de huidige micromechanica te typeren als "intelligent knutselen op microschaal". Als in de toekomst meer complexe structuren reproduceerbaar gemaakt moeten worden, is een beter (fundamenteel) inzicht in deze effecten noodzakelijk. Op de relevante congressen is die accentverschuiving duidelijk waar te nemen. Hiermee wordt het begin van de micromechanische technologie-ontwikkeling ingezet, hoewel veel ervaring nog steeds overgenomen wordt uit de micro-elektronica. Systematisch onderzoek is bijvoorbeeld nodig naar de invloed van processtappen op materiaaleigenschappen. Oppervlakteruwheid en slijtvastheid zullen belangrijke punten van onderzoek zijn. De veelgeroemde micromotoren zijn namelijk in een paar minuten versleten.

Het is nodig ontwerpregels op te stellen en - indien mogelijk - een aantal processtappen te standaardiseren.

Evenals bij het batchgewijs fabriceren van geïntegreerde schakelingen zal het belangrijk zijn de processtappen te kunnen controleren, misschien aan de hand van nog te ontwikkelen mechanische teststructuren.

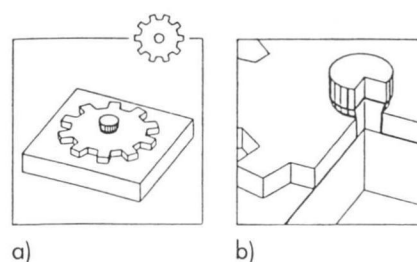
De in de mechanica veel gehanteerde ontwerphulpmiddelen, zoals CAD/CAM, zullen in aangepaste vorm ook in de microdynamica frequent gebruikt gaan worden, zie *figuur 14*. De verpakking en behuizing spelen een belangrijke rol en dienen als punt van onderzoek meegevoerd te worden.

Essentieel voor de ontwikkeling van toepassingen is het ontwerpen van *system-*

concepten voor microstructuren. De potentiële voordelen moeten evenals bij elektronische componenten, aangepast aan de technologie optimaal uitgebuit worden. Compensatie-, modulatie- en tegenkoppeltechnieken kunnen ook in de micromechanica toegepast worden.

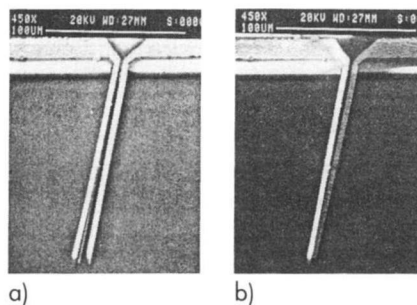
Een belangrijk punt is de aanpassing naar de macrowereld, het zogenaamde *interface*, bijvoorbeeld voor een micro-manipulator gemaakt voor operaties waarbij een grote nauwkeurigheid vereist is; zie *figuur 15*. Wanneer een chirurg echter de manipulator in zijn handen houdt, zal die trillen met uitslagen die veel groter zijn dan de afmetingen van de manipulator zelf.

Juist ook bij de ontwikkeling van concrete toepassingen met micromechanica zullen vele raakvlakken ontstaan met andere vakgebieden. Een werktuigbouwkundige bijvoorbeeld is gewend om het dynamisch gedrag te bepalen van een mechanische structuur bijvoorbeeld op basis van de "eindige elementen methode". De daarbij ontwikkelde rekenmethodes kunnen, na



Figuur 14 a. Om deze as met tandwiel te realiseren werd gebruik gemaakt van een driedimensionale structurele simulator.

b. Detail.
Uit: MEMS, pag. 93.



Figuur 15 Elektronenmicroscopfoto's van een micropincer in geopende a) en gesloten toestand b). De lengte van het pincer bedraagt ongeveer 145 μm , de maximale opening ongeveer 6 μm .

Uit: MEMS, pag. 85.

schaalverkleining, goed toegepast worden voor microstructuren. Een ontwerper van een sensor voor een elektronisch meetsysteem zal juist weer andere vaardigheden hebben, die evenzeer belangrijk zijn voor een goed ontwerp.

Ook het aangeven van de mogelijkheden enerzijds en het vragen naar de mogelijkheden anderzijds zal verschillende vakgebieden bij elkaar moeten brengen. Vanuit de toepassing kan men goed aangeven waar behoefte aan is, maar men moet wel op de hoogte gebracht worden van de mogelijkheden en onmogelijkheden gezien vanuit de technologie.

Micromechanica in Nederland

Op wereldschaal zijn, zoals gewoonlijk, de VS het land waar het meest gebeurt en waar zeker de grootste vernieuwingen plaatsvinden in wereldberoemde centra als Berkeley, M.I.T. en Bell Labs. Ook wat productie van micromechanische sensoren (druk en versnelling) betreft is dat het geval. In kwantiteit en zeker in kwaliteit loopt Japan enigszins achter. Of dat nog lang zo zal zijn is twijfelachtig. Dat Japan al vaker in het westen ontwikkelde technologieën zeer snel overgenomen en verder verbeterd heeft, is genoegzaam bekend. Europa als geheel doet heel goed mee waarbij vooral Duitsland, Nederland, Zwitserland en Frankrijk (in willekeurige volgorde) genoemd moeten worden. De Nederlandse situatie beschouwend kan gezegd worden dat de universiteiten van Delft en Twente wereldwijd in hoog aanzien staan op het gebied van sensoren en actuators.

In Delft werkt men voornamelijk aan sensoren in silicium, waarbij het "smart sensor" concept - hierbij zijn sensor en elektronica geïntegreerd op een enkele chip - het belangrijkste onderzoeksdoel is en waaraan de groep zijn aanzien te danken heeft. Dit heeft te maken met het feit dat Delft het landelijk zwaartepunt is op het gebied van de IC-technologie. Zodoende is de micromechanica hier niet een hoofdaandachtspunt, maar wel wordt micromachining gebruikt bij een aantal sensoren gebaseerd op het thermische principe. Een overzicht hiervan werd gegeven in een presentatie tijdens het Transducers '89 congres.

Vanuit de ervaring op het gebied van oppervlaktegolven (Surface Acoustical Waves) wordt in Delft verder gewerkt aan chemische sensoren voor vloeistoffen. Het hart van de sensor is een dun membraan, vervaardigd met behulp van micromachining, waarin "plaatgolven" opgewekt worden. Hiermee kan in de

Stroomsensor

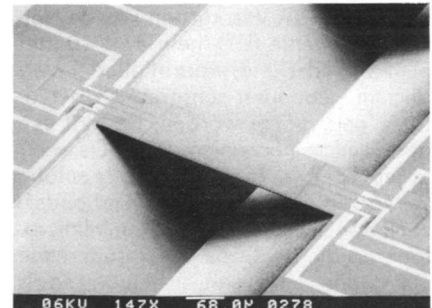
Een aardig voorbeeld van een mogelijk nieuw Nederlands produkt is de stroomsensor die gebaseerd is op een veel toegepast thermisch principe: een langsstromend gas koelt een verwarmd lichaam af, en de resulterende temperatuur is een maat voor de gasstroom. Meestal wordt dat gerealiseerd door in de wand van een buis verwarmingselementen en weerstandtemperatuurmeters op te nemen. Door de verwarming en de temperatuurmeting te situeren in een thermisch geïsoleerde brug die middenin de gasstroom hangt, wordt de gevoeligheid enorm hoog en de responsietijd kort. Deze configuratie kan worden gerealiseerd met micromachining in silicium, zie *figuur 16*. Eerst wordt de brug vervaardigd met dunnefilm-technieken, fotolithografie en etstechnieken, waarna tot slot de groef onder de brug geëtsd wordt. Deze v-groef dient als de ene helft van de gasgeleider. Een tweede plak met een v-groef op een overeenkomstige plaats wordt door middel van bonding bevestigd en completeert de gasgeleider.

Gangbaar is de temperatuur met (permalloy)weerstanden te meten. Honeywell neemt een dergelijke sensor binnenkort in productie.

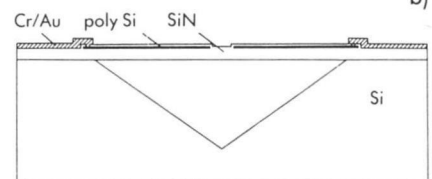
De stroomsensor die op de UT ontwikkeld wordt, meet de temperatuur aan de hand van de mechanische resonantiefrequentie van de brug. Deze is opgebouwd uit twee lagen met verschillende uitzettingscoëfficiënt, te weten siliciumnitride en polysilicium. Door met een weerstand, vormgegeven in de polysilicium laag, de bovenkant van de brug periodiek te verhitten, wordt de brug in trilling gebracht. Een DC-spanning brengt de brug op de vereiste verhoogde temperatuur. De trilling wordt vervolgens gemeten met geïntegreerde piëzoweerstanden in een brug van Wheatstone. Dit signaal wordt versterkt en teruggevoerd naar de verhittingsweerstand. De brug, weerstanden en versterker vormen samen een afgestemde kring waarbij de brug (mechanisch) resoneert bij een bepaalde frequentie. Een kleine temperatuurverlaging als gevolg van een gasstroom doet de frequentie verschuiven, wat eenvoudig en nauwkeurig gemeten kan worden. Op deze manier worden elegant de mogelijkheden van micromechanica en siliciumtechnologie gecombineerd.

Warmtestroomsensor

Aan de TU Delft is een warmtestroomsensor ontwikkeld die met behulp van micromechanica vervaardigd wordt. Van deze zogenaamde "zwevendemembraan geïntegreerde thermozuil sensor" toont de foto een detail (*figuur 17a*) en de tekening een schematische weergave (*figuur 17b*). Door middel van nat etsen in silicium met een KOH-oplossing is een 10 micrometer dik membraan gevormd in het midden van de chip - de dikte van het membraan wordt bepaald met een elektrochemische etsstop. Hierin zijn groeven geëtsd met de droge plasma-etstechniek, waardoor een groot vierkant zwevend membraan (3,4 x 3,4 mm) in het midden van de chip gedefinieerd wordt. Dit zwevende membraan is dan opgehangen aan de 300 micrometer dikke rand van de chip met behulp van vier 2 mm lange, 0,16 mm brede en 10 micrometer dunne verbindingsstukken. De foto toont een van de verbindingsstukken tussen de dikke rand (rondom) en het dunne zwevende membraan. De dunne en relatief lange verbindingsstukken geven een grote thermische weerstand tussen dit membraan en de rand, waardoor al bij zeer kleine warmtestromen een aanzienlijk temperatuurverschil ontstaat. Deze temperatuurverschillen kunnen dan gemakkelijk worden gemeten met geïntegreerde siliciumthermopkoppels die zich in de verbindingsstukken bevinden.



a)

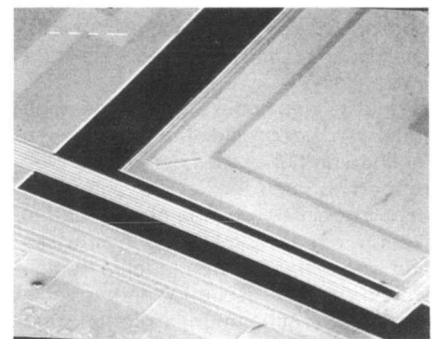


b)

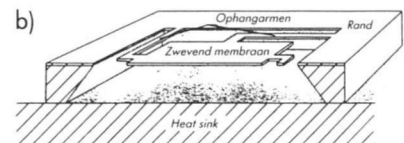
Figuur 16 a. Elektronenmicroscopfoto van de stroomsensor.

b. Schematische doorsnede.

Foto: CME Twente.



a)



Figuur 17 a. Elektronenmicroscopfoto van een van de ophangarmen van de warmtestroomsensor.

b. Schematische weergave van de sensor.

Foto: CME Twente.

vloeistof de massaverandering van een (bio)chemisch "interface" gemeten worden, dat selectief bepaalde stoffen bindt. De plaatgolven in het dunne membraan zijn essentieel omdat oppervlaktegolven in de vloeistof te veel gedempt zouden worden.

Verder bestaan er net zoals in Twente plannen om surface-micromachining te gaan onderzoeken.

Micromechanica

Binnen de S&A Werkgroep van de Universiteit Twente (UT), het S&A-zwaartepunt in Nederland, waarin allerlei niet-silicium gebonden sensoren en actuatoren onderzocht worden, bestaat een aparte micromechanica-groep. De werkgroep heeft zich een goede reputatie verworven door toonaangevend onderzoek aan sensoren zoals de minimicrofoon en die op basis van resonerende membranen en balken, en actuatoren als de piëzo-elektrische micropomp. Dit kwam onder meer naar voren op het Transducers '89 congres waarbij de UT in overzichtspresentaties over bepaalde technologieën een aantal keren aangehaald werd.

Een hoogleraar van de Universiteit Twente (Dr. J.H.J. Fluitman) is ook de initiatiefnemer van de oprichting van de MicroMechanics Europe (MME). Een van de doelstellingen is het houden van micromechanische workshops zoals die in de VS al twee keer georganiseerd zijn. De eerste workshop is eind november 1989 in Twente gehouden. De resultaten van deze workshop geven vertrouwen voor de toekomst van micromechanica in Europa, en . . . in Nederland - zie kader "workshop".

De laatste jaren is deze UT-groep kwantitatief sterk gegroeid. Mede naar aanleiding van het eerder genoemde NSF-rapport is men bezig een ambitieus onderzoeksprogramma op te zetten, waarin voor de modellering en ontwikkeling van ontwerphulpmiddelen samenwerking met de faculteit Werktuigbouwkunde een zeer belangrijke plaats in gaat nemen ("micromechatronica"). Onderzoekthema's zijn: resonatoren, doseersystemen, stromingssensoren e.d. voor vloeistoffen, surface-micromachining en verpakking. Dit laatste onderwerp is zeer belangrijk voor de toepassing van resonerende sensoren, maar is tot nu toe bij het universitaire onderzoek altijd "vergeten".

Zoals eerder vermeld betreft de toepassing van micromechanica in producten voornamelijk nog druksensoren en sinds kort versnellingsensoren. Ook in de productie hiervan spelen de VS en Japan de voornaamste rol. Opvallend is dat aanvankelijk multinationals (of divisies daarvan) als Honeywell (Micro-Switch), General Motors (Delco) en Texas Instruments druksensoren maakten, maar dat sinds kort nieuwe bedrijven als Nova-Sensor en IC Sensors, opgericht door vroegere vooraanstaande universitaire R&D-onderzoekers, zich op die grote markt begeven, vooral voor toepassingen in auto's.

Europa loopt produktietechnisch achter. Siemens is actief op de voor een groot concern obligate markt van druksensoren. Zwitserland heeft een aantal produktiefaciliteiten in de buurt van Neuchâtel, geïnitieerd door de vroegere fijnmechanische horloge-industrie. Een klein staartje loopt door naar het Zwarte Woud in Duitsland. Frankrijk lijkt zich vooral toe te leggen op versnellingsensoren. Het Nederlandse bedrijfsleven doet echter nog nauwelijks mee in het grote spel. Philips produceert eenvoudige druksensoren en levert elementen toe aan PPG (het vroegere Honeywell Medical Systems) in Best voor biomedische toepassingen. Opvallend is dat Philips nauwelijks aandacht schenkt aan deze nieuwe ontwikkelingen in de micromechanica. Een geheel eigen produkt heeft Sentron in Roden. Deze spin-off van het grote Amerikaanse bedrijf voor medische toepassingen Cordis, ontwikkelt en produceert in eigen beheer catheters met een zeer kleine druksensor.

Nieuw op de markt is het Amsterdamse bedrijf Microtel, dat in de loop van volgend jaar in samenwerking met 3T, de eerste minimicrofoon gaat produceren. Vanuit de TU Delft is het sensorbedrijf Xensor ontstaan, vooral actief op het gebied van sensoren met het thermische principe (vacuumsensor).

Hoewel het Nederlandse universitaire onderzoek kwantitatief en kwalitatief van hoog niveau is wordt maar weinig van deze inspanning omgezet in verkoopbare producten. Dat heeft te maken met de hoge investeringen - apparatuur, ruimte, en personeel dat opgeleid moet worden - die nodig zijn om over te schakelen op deze technologie. Dergelijke investeringen zijn alleen economisch te verantwoorden als de omzet voldoende groot (Microtel) of de prijs hoog (Sentron) is. Verder is de ontwikkeltijd voor dergelijke nieuwe producten erg lang. Al met al is het ondernemersrisico hoog, en in het verleden is op andere gebieden (bijvoorbeeld ASICs - Application Specific Integrated Circuits) gebleken dat het Nederlandse bedrijfsleven liever even de kat uit de boom kijkt. In Zwitserland echter is de fijnmechanische industrie een logische en blijkbaar ook praktische kandidaat voor de overstap naar micro-elektronica en S&A-technologie in het algemeen en de micromechanica in het bijzonder. Een en ander werd ook verkondigd op een symposium van Battelle over de sensorindustrie in Europa dat voorafgaand aan Transducers '89 gehouden werd in Genève.

Wat doet de Nederlandse overheid?

In de VS, de voorloper op dit gebied, is duidelijk dat de overheid het belang van de micromechanica c.q. microdynamica inziet. Er zijn voorbereidende acties gaande op initiatief van de NSF voor een nationaal programma. Het rapport met een zeer strategische doelstelling dat in opdracht van deze organisatie samengesteld is, is al een aantal keren genoemd. Hierin wordt verkondigd dat de microdynamica één van de belangrijkste technologieën van de toekomst wordt.

Voor de Nederlandse overheid is het gehele S&A-veld reeds een aandachtspunt. Dat blijkt uit allerlei subsidie-mogelijkheden op R&D-gebied via STW (Stichting Technische Wetenschappen, gericht op universiteiten), CME (gericht op samenwerkingsprojecten tussen kenniscentra en industrie) en PBTS (Programmatisch Bedrijfsgerichte Technologie Stimulering).

Het nieuwe vakgebied microdynamica is echter door het multidisciplinaire karakter moeilijk in te passen in één van de bestaande regelingen, die gericht zijn op bijvoorbeeld nieuwe materialen, medische technologie of informatietechnologie. Gezien de verwachte kansen van de micromechanica en de microdynamica voor de industrie en de onderzoeksinstellingen zou een apart stimuleringsprogramma op zijn plaats zijn. Er is voldoende belangstelling vanuit het bedrijfsleven te verwachten, omdat in Nederland een redelijk grote fijnmechanische industrie bestaat, die bovendien nog goed georganiseerd is. Hiermee is de kans groter dat de uitstekende R&D-potentie op dit gebied aan de universiteiten in Delft en Twente ten goede komt aan de Nederlandse industrie. Van de Nederlandse overheid worden bevorderende maatregelen verwacht, gezien de afwachtende houding van het bedrijfsleven. Zelfs in een ondernemersland als de VS blijkt een stimulerende overheid essentieel te zijn.

Micromechanics Europe (MME) Workshop '89

Op 23 en 24 november 1989 werd de eerste workshop op het gebied van de micromechanica in Europa gehouden. Het initiatief hiervoor kwam van de vakgroep Transductietechniek en Materiaalkunde (Dr. M. Elwenspoek en Prof. Dr. J.H.J. Fluitman) van de faculteit Elektrotechniek van de Universiteit Twente. Het daar al langer levende idee, met

name opgekomen naar aanleiding van de succesvolle workshops in de Verenigde Staten in '87 en '89 kreeg concrete vorm in een door Dr. M. Elwenspoek en Prof. Dr. J.H.J. Fluitman ad hoc georganiseerde bijeenkomst op het Transducers '89 congres in Montreux. De voormannen van een aantal vooraanstaande Europese onderzoeksgroepen kwamen tot de conclusie dat "Europa" de krachten moest bundelen wilde het de competitie op het veelbelovende gebied van de micromechanica met de VS (en Japan) aan kunnen gaan. Hoe deze bundeling precies in zijn werk moest gaan was (en is) nog onduidelijk maar over een ding was men het eens: een enigszins besloten workshop waarin de Europese onderzoekers op een informele en vooral ook openhartige manier over hun onderzoek zouden berichten, zou een eerste stap kunnen zijn. De Universiteit Twente nam de organisatie van deze workshop op zich.

De workshop, overigens gesponsord door het Centrum voor Micro-Elektronica Twente, is een groot succes geworden. De vijftig deelnemers kwamen uit heel (West-)Europa: Zweden, Noorwegen, Denemarken, Nederland, Engeland, West-Duitsland, België, Frankrijk, Zwitserland en Italië. Een eerste conclusie die naar aanleiding van deze workshop getrokken kan worden is dan ook dat het aantal onderzoekers dat actief is op dit gebied veel groter is dan menig een vooraf dacht. Een tweede conclusie is dat coördinatie van de onderzoeken op zijn plaats zou zijn om tot optimale bundeling van krachten te komen. Omdat echter veel groepen zich met verve (willen) werpen op "modieuze", dat wil zeggen door de VS gezette trends zoals de vervaardiging van micromotoren - die voorlopig weinig concrete toepassingen te bieden hebben - is te verwachten dat dat wel eens een moeizame geschiedenis kan worden. Daarover later meer.

Zonder in te technische details te treden wil ik een aantal opvallende zaken vermelden. Er is duidelijk een aantal groepen te onderscheiden die voorop lopen.

Hierbij is onderscheid te maken in kwantiteit (de grootte van de groep) en kwaliteit/geavanceerdheid. De Universiteit van Uppsala (Zweden) valt in beide opzichten op en geeft blijk van de noodzakelijke lange-termijn visie. De groep

steekt veel energie in onderzoek aan name opgekomen naar aanleiding van galliumarsenide, dat weliswaar iets minder gunstige mechanische eigenschappen vertoont, maar aantrekkelijk is vanwege de optische mogelijkheden (halfgeleider laser). Hiermee wordt een voorshot genomen op de voorziene combinatie van lasertechnologie/geïntegreerde optica en microdynamica.

Een hele kleine groep aan de Chalmers University (Göteborg, Zweden) werkt aan een aantal zeer originele devices als een resonator die op een bijzondere manier oscilleert, wat een zeer hoge kwaliteitsfactor tot gevolg heeft, en een deeltjesfilter dat tegelijkertijd de aard van het gefilterde medium kan bepalen.

Het Fraunhofer Instituut für Mikrostrukturtechnik in Berlijn (vergelijkbaar met de Nederlandse TNO-instituten) beschikt over een zeer goed uitgerust laboratorium en een groot aantal vaste medewerkers. In de vele micromechanica-ontwikkelingsprojecten, veelal voor de industrie, staat voorop dat een belangrijk deel van de procesgang uitgevoerd moet kunnen worden in een standaard IC-vervaardigingslijn (CMOS) om de overdracht van de technologie naar het bedrijfsleven te vergemakkelijken.

Twee Franse groepen (ESIEE, Parijs en LETI, Grenoble) onderscheiden zich op het gebied van accelerometers en geïntegreerde optica, en toepassing van het piezo-elektrische kwarts.

In het Zwitserse Neuchâtel zijn twee, zeer nauw verbonden groepen met nogal wat Nederlandse inbreng actief. Het IMT (Institute of Microtechnology) van de universiteit aldaar, onder leiding van de Nederlander Prof. Dr. Ir. N.F. De Rooy, toonde als eerste in Europa een video van een met surface-micromachining vervaardigde planair-resonerende structuur. Tot zijn verbazing bleek de vervaardiging geen enkel probleem: het eerste prototype werkte zonder manken! Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat de voorsprong van de VS minder groot is dan gedacht. Het CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique), een door de overheid fors gesubsidieerde instelling, ontwikkelde voor de ruimtevaart een zeer geavanceerde accelerometer met een terugkoppelingsprincipe. Opvallend was dat de Zwitsers bepaald niet om geld verlegen

zaten, maar vooral om mensen, terwijl de andere groepen voornamelijk klaagden over geldgebrek!

In dit rijtje van voorlopers mogen de Nederlandse groepen niet ontbreken.

De TU Delft werpt zich op surface-micromachining aan de hand van een ambitieus project waarin de micromotor op een slimme manier wordt toegepast als sluiters voor een optische detector.

In Twente is een relatief grote groep van onderzoekers bezig de fundamentele achtergronden van de micromechanica te exploreren, met name door samenwerking met de werktuigbouwkunde. Anderzijds wordt in meer device-gerichte projecten gewerkt aan resonerende sensoren, actuatoren en microfoons in silicium.

Na afloop van de presentaties werd in plenair en in kleiner verband gesproken over de mogelijkheden van samenwerking binnen een of andere associatie. Concrete resultaten daaruit zijn de vorming van een "Steering Committee", waarin een vertegenwoordiger van alle in het begin genoemde landen zit, en een schema van nieuwe workshops onder verantwoordelijkheid van het comité: Berlijn '90, Leuven '91 en Zwitserland '92. Er zal een lobby opgezet worden richting "Brussel" met als doel fondsen voor onderzoek te verwerven. Daarnaast zal gepoogd worden de congressen en workshops op het gebied van de micromechanica, die plotseling alom georganiseerd lijken te worden, te coördineren.

Voor afbakening en coördinatie van onderzoek voor de verschillende groepen bleek voornamelijk weinig belangstelling. De groepen zijn (nog) bezig hun weg te zoeken in het brede gebied van de micromechanica en de meeste wensen daarin voorlopig vrij te zijn.

Al met al kan men toch stellen dat deze workshop prima voldaan heeft aan de doelstelling: de (toekomstige) bundeling van de niet geringe krachten in Europa op het gebied van de micromechanica.

H. Leeuwis

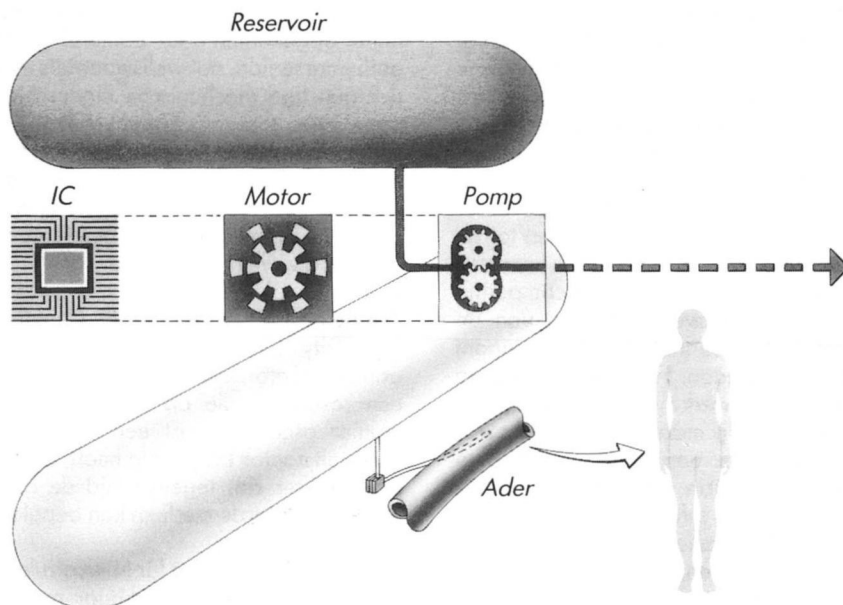
** Dit artikel is in aangepaste vorm ontleend aan MicroSelekt nr. 16 van september 1989; een uitgave van de Stichting Centra voor Micro-Elektronica.*

Micromechanica

De Stichting Centra voor Micro-Elektronica heeft tot doel kleine en middelgrote ondernemingen te stimuleren tot het gebruik van micro-elektronica in hun producten en productieprocessen.

Onafhankelijke voorlichting op diverse specialistische niveaus, technisch en bedrijfskundig advies en deelname aan nationale en internationale projecten staan ten dienste van dit streven.

CME-Twente maakt deel uit van deze landelijke stichting en ondersteunt de doelstelling met specialisten op het gebied van automatisering, IC-ontwerp en technologie, alsmede sensoren en actuatoren. Bovendien beschikt CME-Twente over een per branche goed gesorteerde Software Data-bank.



Figuur 18 Met behulp van micromechanica zou dit doseersysteem voor insuline gemaakt kunnen worden. Het geheel kan in de buikholte worden ingebracht. Het reservoir kan met een injectienaald bijvoorbeeld 1 maal per maand worden gevuld. Tekening: CME Twente.

Actueel

1.000.000.000.000 1 triljoen microverbindingen per jaar in Nederland

De Nederlandse industrie brengt elk jaar zo'n 10^{12} microverbindingen tot stand. Het totale prijskaartje daarvan: f 6 miljard. Met name door de sterk toegenomen toepassing van elektronica in de meest uiteenlopende produkten neemt dit aantal jaarlijks relatief sterk toe en daarmee ook het belang van de microverbindingstechnologie.

Een onderzoek van het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL) en de Vereniging FME naar microverbindingen in Nederland leverde 2 belangrijke conclusies op:

1. Er is een grote behoefte aan onderwijs/scholing en voorlichting.
2. De materie verdient verder onderzoek.

De FME en het NIL hebben besloten om met name het gebrek aan kennis van het microverbindingen aan te pakken en daartoe een tweesporenbeleid op te zetten: een aantal experts op de diverse vakgebieden, meestal uit de praktijk, is

benaderd als auteur voor Voorlichtingsbladen. Dit levert een dusdanig geheel op dat welhaast sprake is van een "handboek voor microverbindingen"; parallel aan dat initiatief wordt in Den Haag een voorlichtingsdag georganiseerd op **dinsdag 15 mei 1990**.

Deze voorlichtingsdag richt zich op iedereen die zich nu of later bezighoudt met microverbindingen of met technieken die raakvlakken met de microverbindingstechnologie vertonen. De belangrijkste technieken komen aan de orde: microsolderen, microsmeltingen, microweerstandlassen en bonden. Alle deelnemers aan deze studiedag ontvangen bovendien een referatenbundel en de gebundelde voorlichtingsbladen.

De verbindingstechnologie wordt in een breed verband geplaatst, getuige één der inleidingen door Prof. Mr. W.J. Slagter, die als gastspreker het onderwerp "Microverbindingen en Produktaansprakelijkheid" aan de orde zal stellen.

De heer W.G. Essers, lid van de werk-

groep die deze voorlichtingsdag organiseert, stelt dat het belang van een goede microverbinding vaak onderschat wordt:

"Stel dat 1% van die 1 triljoen verbindingen fout is . . . dan zijn dat 10.000.000.000 foutieve microverbindingen. Er hoeft maar één foutieve verbinding in een pacemaker te zijn voor een fatale fout; een fout die mensenlevens kost. De enige 100% betrouwbare test bestaat uit het uitvoeren van destructief onderzoek: de verbinding kapot maken. Niet-destructief onderzoek kan nooit een volledige garantie bieden.

Daarom is kennis van de diverse technieken en methodieken voor een goede keuze en een goede toepassing van uiterste importantie".

De voorlichtingsdag Microverbindingen van Metalen vindt plaats op dinsdag 15 mei 1990 van 9.00 tot 18.00 uur in het Nederlands Congresgebouw in Den Haag. Het NIL, Laan van Meerdervoort 2-B, 2517 AJ Den Haag (070-3658900) verstrekt u graag nadere informatie. ■

Micropompen op basis van micromechanische technieken

Dr. Ir. F.C.M. van de Pol, werkgroep Sensors & Actuators Universiteit Twente

Dit artikel geeft een overzicht van bestaande micromechanische pompen. Het is een historische beschrijving, beginnend met het werk van Wallmark en Smits (Stanford University USA) begin jaren tachtig, gevolgd door een aantal projecten uitgevoerd door Smits, Groothengel, Hartevelt, Huizing, Van Lintel en schrijver deze (Universiteit Twente) in de periode 1983-1989, en eindigend met recent onderzoek van Shoji en Esashi (Tohoku University Japan). Daarna volgt een korte vergelijkende beschouwing van de verschillende types. We besluiten met mogelijke toepassingen.

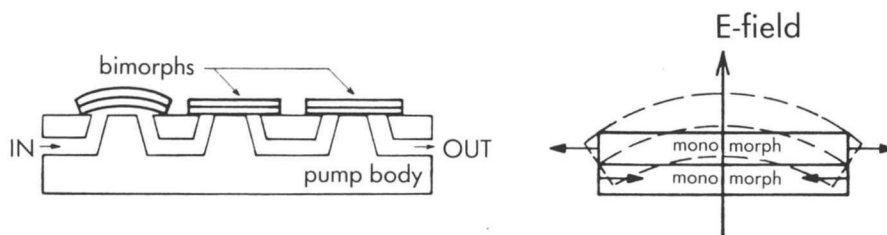
In het artikel van H. Leeuwis en E. van Woerkens, elders in dit themanummer van Mikroniek, wordt uitgebreid ingegaan op de ontwikkelingen, achtergronden en mogelijkheden van het vakgebied micromechanica in het algemeen. We veronderstellen derhalve basisbegrippen als bulk en surface micromachining en wafer-bonding als bekend.

De peristaltische pomp met piezo-elektrische bimorfen

Aan de Stanford University USA ontwikkelen prof. dr. J.T. Wallmark en dr. J.G. Smits, tijdelijk gedetacheerd vanuit Twente, begin jaren tachtig een peristaltische pomp met piezo-elektrische bimorfen, die door de bimorfwerking een vloeistof door kanaaltjes kan persen. *Figuur 1* geeft een principeschets en verduidelijkt de pompwerking. Er worden pompsnelheden van 30 $\mu\text{l}/\text{min}$ gemeten en een pompdruk van 20-30 cm waterkolom (H_2O). In deze pomp is nog geen gebruik gemaakt van silicium.

Na Smits' terugkeer naar Twente, wordt dit onderzoek voortgezet aan de Universiteit Twente. Er wordt een patent [1] aangevraagd en de Stichting Researchfonds Diabetes Mellitus te Utrecht verleent een gift voor onderzoek naar de toepassing van de "Stanford-pomp" als implanteerbare insulinepomp.

R.A. Groothengel en C. Hartevelt werken in de periode april 1983 tot december 1984 aan een prototype met een pomplichaam geëts uit een siliciumplak gemonteerd in een perspex behuizing, zie *figuur 2*. Er zijn grote problemen met de



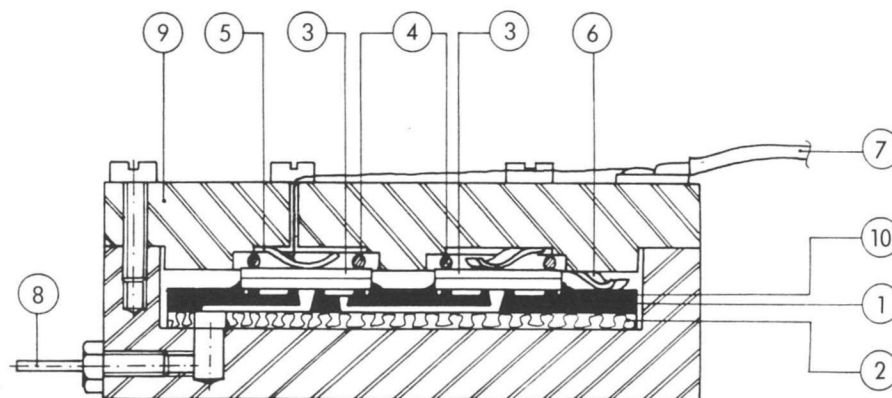
Figuur 1 Principeschets (links) en werkingsprincipe - gebaseerd op de krachtenwerking in een bimorf - van de peristaltische "Stanford" pomp.

Toelichting

De pomp bestaat uit een pomplichaam met kanalen, waarop cirkelvormige piezo-elektrische bimorfen bevestigd zijn. Deze bimorfen hebben de eigenschap onder invloed van een elektrisch veld op te bollen wat wordt veroorzaakt door de opbouw ervan.

Een bimorf bestaat namelijk uit twee aan elkaar bevestigde monomorfen die tegenovergesteld gepoold zijn. Wordt zo'n bimorf on-

derworpen aan een elektrisch veld dan zal de ene monomorf in diameter willen toenemen, terwijl de andere monomorf juist wil krimpen. Dit veroorzaakt afschuifkrachten in de contactlaag tussen de beide monomorfen met als gevolg: opbolling van de bimorfen. Een pompeffect ontstaat door de bimorfkleppen zodanig elektrisch aan te sturen dat ze tezamen een peristaltische beweging uitvoeren.



Figuur 2 Peristaltische pomp in perspex behuizing.

- 1: siliciumplak met pompkamers en kanalen
- 2: pakking, siliconenrubber
- 3: bimorf
- 4: O-ring
- 5: bladveer, brons

- 6: bladveer, brons, grondelektrode
- 7: elektrische aansluitingen
- 8: vloeistofaansluiting
- 9: huis, perspex
- 10: siliconenlijm

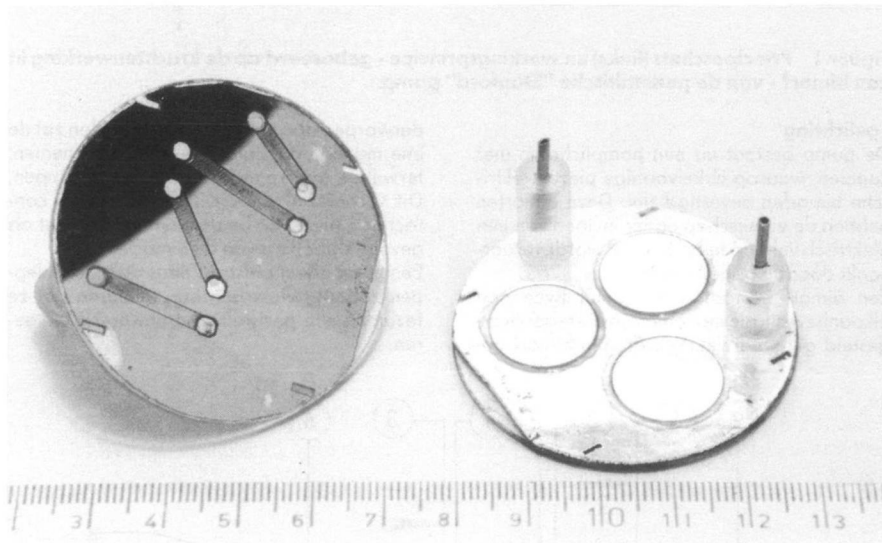
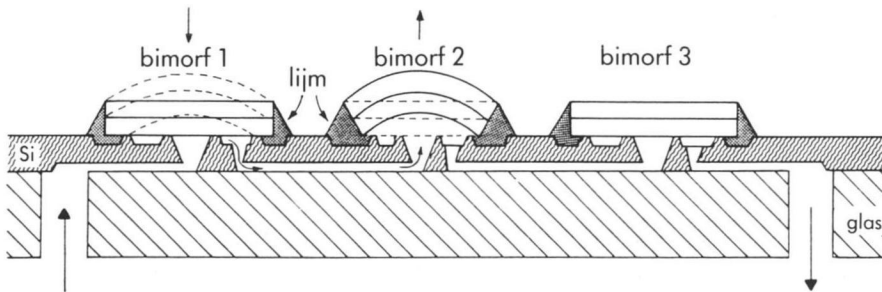
vloeistofaf dichtingen en met het vullen van dit prototype. Bovendien blijkt het silicium pomplichaam vaak te breken tijdens de montage in de perspex behuizing. Een volgend prototype bestaat uit een geëts siliciumplak anodisch gebond op een glazen plak, zie *figuur 3*. De (dikke) glazen plak doet dienst als versterking, en de afdichting blijkt perfect. Bovendien verloopt het vullen van de pomp minder moeizaam door een verbeterd ontwerp. Er worden pompdrukken van 20 cm H_2O en opbrengsten van 3 $\mu\text{l}/\text{min}$ bereikt. Vanaf oktober 1983 verloopt parallel

aan dit onderzoek een project gefinancierd door het CME Twente (Centrum voor Micro-Elektronica Twente) in samenwerking met Vitatron N.V. Dieren, waarin Huizing en van Lintel eveneens de mogelijkheden onderzoeken van een micropomp met een pomplichaam geëts uit silicium als doseersysteem voor insuline.

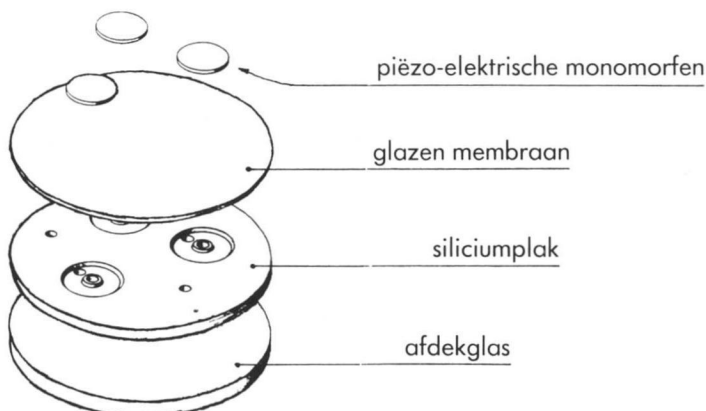
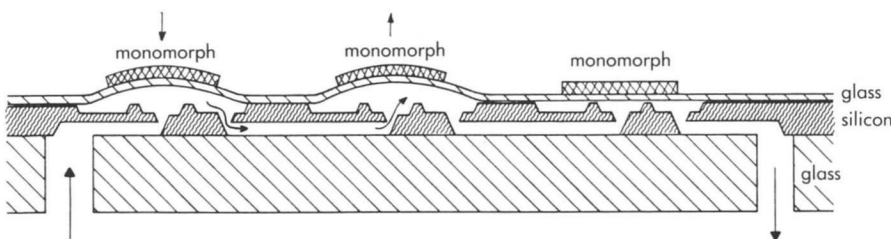
De peristaltische pomp met piezo-elektrische monomorfen

Het pompedrag van de pompen met piezo-elektrische bimorfen blijkt slecht

Micropompen



Figuur 3 Peristaltische pomp met pomplichaam gebond op een glazen plak. De bovenste figuur toont de onderdelen van de pomp in uitgeslagen toestand.



Figuur 4 Peristaltische pomp met piëzo-elektrische monomorfen.

reproduceerbaar en instabiel. Dit komt waarschijnlijk door een snelle veroudering van de mechanisch zwaar belaste lijm tussen bimorfen en pomplichaam. Daarom wordt besloten over te gaan op piëzo-elektrische monomorfen. Deze worden gelijmd op glazen membranen gevormd door anodisch bonden van een tweede (dunne) glazen plak op het silicium pomplichaam, zie *figuur 4* [2]. Het pompgedrag is nu stabiel. De maximale pompdruk en opbrengst zijn 2 m H₂O en 3 μ l/min. Smits verruult eind 1984 de Universiteit Twente voor Boston University USA.

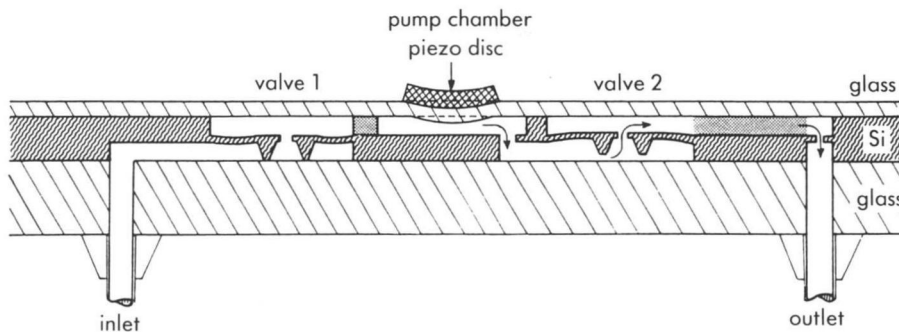
De piëzo-elektrische pomp met passieve kleppen

Het pompgedrag van de peristaltische prototypes blijft te instabiel en onvoldoende reproduceerbaar. Dit wordt veroorzaakt door kruip (langzame niet-elastische vervorming) van het piëzo-elektrisch materiaal en de lijm. Bovendien beïnvloeden niet-reproduceerbare mechanische spanningen (geïntroduceerd tijdens het bonden) de voorspanning tussen de monomorf/glas-dubbellen en de klepzittingen. In een nieuw ontwerp, wordt de tweevoudige functie - vloeistof verdringing en klepwerking - van deze monomorf/glas-dubbellen overgenomen door gescheiden onderdelen.

Dit resulteert in een pomp gebaseerd op wederkerige verdringing, zie *figuur 5* [3]. Het pomplichaam bestaat uit een pompkamer, kanalen en twee "passieve" kleppen. De maximale pompdruk en opbrengst zijn 2 m H₂O en 25 μ l/min. Het pompgedrag blijkt zeer stabiel en redelijk reproduceerbaar. Voor de toepassing als insuliepomp, is aan een tweetal eisen nog niet voldaan. Ten eerste mag er in beide richtingen geen vloeistof kunnen stromen als de pomp uitgeschakeld is: "fail-safety". Ten tweede moet de opbrengst drukonafhankelijk zijn in het werkgebied van de pomp: 0-2 m H₂O. Oplossing is de toevoeging van een derde klep, zie *figuur 6* [3]. Deze pomp vertoont een drukonafhankelijke opbrengst van 0,6 μ l/min tot een druk van 2 m H₂O, en een maximale drukopbouw van 4 m.

De thermo-pneumatische pomp

Het CME Twente/Vitatron project loopt eind 1985 af. Er is inmiddels een nieuw project "geïntegreerde micropomp" opgestart, gefinancierd door de Universiteit Twente zelf. Dit project loopt van april 1985 tot augustus 1989 en wordt uitgevoerd door de auteur van dit artikel. Doel is de ontwikkeling van een micropomp gebaseerd op micromachining van

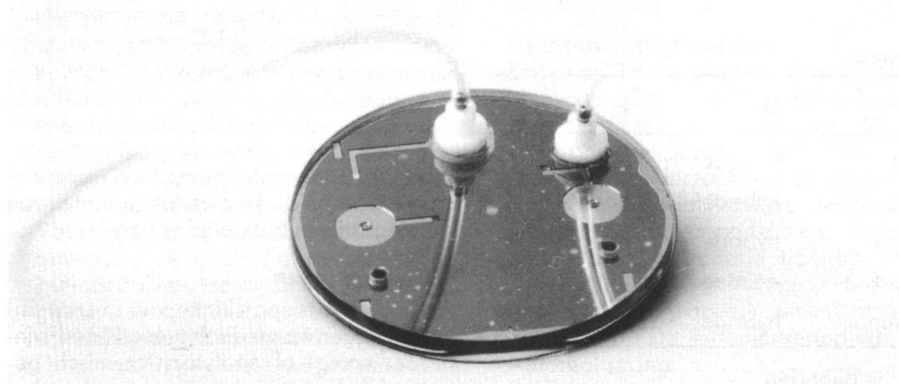
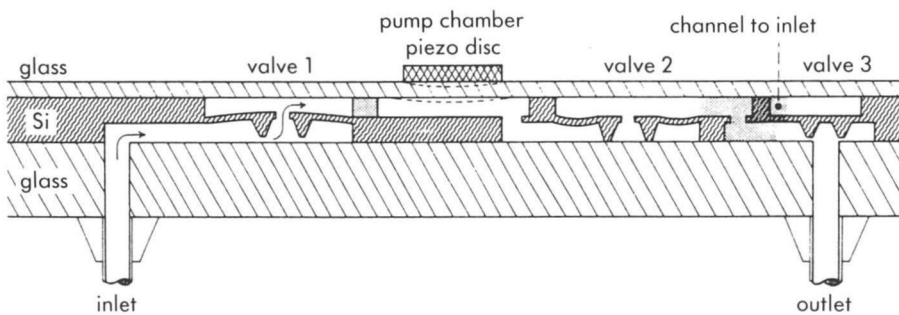


Figuur 5 Piëzo-elektrische pomp met twee passieve kleppen.

Toelichting

Bij aanleggen van een elektrische spanning over de piëzo-elektrische schijf, buigt de dubbellaag piëzoschijf/glasmembraan naar beneden. Daarbij wordt vloeistof door klep 2 naar de uitgang geperst, terwijl klep 1 dicht

geduwd wordt en terugstroom naar de ingang blokkeert. Na afschakelen van de spanning zal het membraan terugveren, daarbij vloeistof aanzuigend vanaf de ingang, terwijl klep 2 sluit en terugstroom vanaf de uitgang blokkeert (wederkerige verdringing).



Figuur 6 Piëzo-elektrische pomp met drie passieve kleppen

Toelichting

De derde klep is via een kanaal verbonden met de ingang en sluit de uitgang af zodra de druk

aan de ingang die aan de uitgang overtreft. Bovendien verkleint deze klep de drukafhankelijkheid van de pompopbrengst.

silicium, dunnelaag-technieken en anodisch bonden van silicium op glas, gebruik makend van een gesputterde dunnefilm piëzo-elektrisch zinkoxyde (ZnO). Het dunnefilm ZnO moet de opgelijmde piëzo-elektrische schijfjes vervangen. Verder dient de mogelijkheid van integratie van de benodigde elektronica op dezelfde plak te worden bestudeerd.

Uit berekeningen volgt dat aandrijving met dunnefilm ZnO niet mogelijk is. Een nadere beschouwing van allerlei pompprincipes en mogelijke aandrijfprincipes [4] leert dat elektro-thermo-pneumatische aandrijving [5] een goed alternatief is. *Figuur 7* geeft een schets van een thermopneumatische pomp [6] en een toelichting op de werking. Het is een sta-

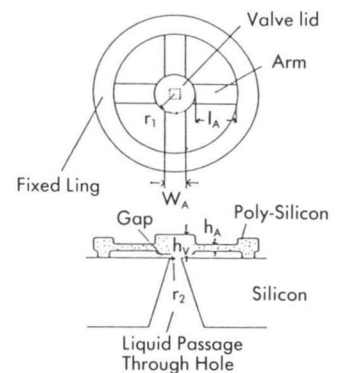
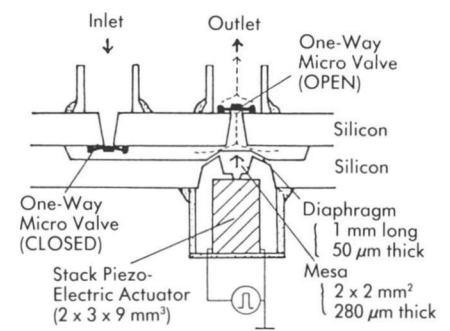
pelting van twee silicium en drie glazen plakken, anodisch gebond. Het resistieve verwarmingselement wordt gevormd door plaatselijk etsen van een opgedampte aluminiumfilm. De pomp heeft een maximale opbrengst en drukopbouw van 50 µl/min en 0,5 m H₂O.

De piëzo-elektrische pompen uit Japan

Waarschijnlijk geïnspireerd door het werk in Twente en het in de USA opkomende surface-micromachining, wordt midden jaren tachtig ook in Japan gestart met onderzoek aan micropompen op basis van silicium. Er worden een aantal piëzo-elektrisch aangedreven prototypes gerealiseerd met een pomplichaam geëtsd uit een siliciumplak (bulk-micromachining) en klepjes vervaardigd met surface-micromachining, zie *figuur 8* [7]. De maximaal bereikte drukken en opbrengsten zijn 1 m H₂O en 25 µl/min. Met gemodificeerde types [8] worden hogere drukken en opbrengsten gehaald.

Vergelijking van de verschillende pomptypes

Er zijn kwalitatief een aantal verschillen aan te geven tussen de genoemde pomptypes. In tabel 1 is dit gedaan voor wat



Figuur 8 Piëzo-elektrische pomp uit Japan; de figuur rechts geeft in meer detail de klepconstructie.

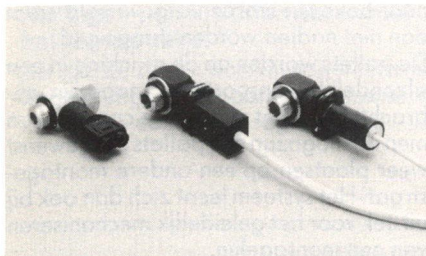
Werkplaatsinformatie

Speciale sensorkoppelingen

Het Franse bedrijf Legris introduceerde enkele jaren geleden een serie compacte sensorkoppelingen met pneumatisch uitgangssignaal. Deze worden toegepast bij luchtcilinders en dienen als alternatief voor eindschakelaars. Als vervolg op het succes van deze koppelingen brengt Legris nu een nieuwe serie met elektrisch en elektronisch uitgangssignaal. Deze serie heeft dus niet de beperking van alleen een pneumatisch signaal, en kunnen in vrijwel alle voorkomende gevallen worden ingezet in plaats van eindschakelaars. De werking is in principe gelijk aan die met pneumatisch uitgangssignaal.

Door de koppeling in de ingangspoot van de cilinder te schroeven, wordt deze door de in de cilinder aanwezige druk gestuurd. Bij het wegvallen van de druk wordt, afhankelijk van type, een elektrisch signaal afgegeven, hetzij een maak- of breekcontact bekrachtigd. Een groot voordeel is de directe plaatsing op de cilinder. Door deze contactloze signalering zijn er geen bewegende delen meer en is er een hoge mate van betrouwbaarheid. De nieuwe sensorkoppelingen zijn toepasbaar bij een werkdruk van 0,3 MPa tot 0,8 MPa (3 tot 8 bar). De elektrische uitvoering heeft type no. 7828; hierbij is het schakelcontact bekend op een stroom van 5A/250 V AC of 5W/48 V DC.

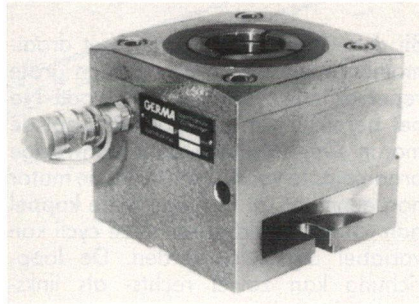
Er zijn twee elektronische types met als type no. respectievelijk 7838 en 7848; hierbij wordt bij het bekrachtigen een contact gesloten of verbroken. Via dit contact kan een signaal van 100 mA, 12/24 V DC worden doorgegeven.



Elke sensorkoppeling is leverbaar in uitvoeringen met schroefdraad M5, 1/8", 1/4", 3/8" of 1/2" BSP.

Voor uitvoerige info:
Legris BV
Postbus 74, 1380 AB Weesp
Telefoon: 02940-80209.

Hydraulische panelementen



Voor het bewerken van ronde werkstukken heeft het Westduitse bedrijf Germa zich gespecialiseerd en hiervoor hydraulische panelementen ontwikkeld. Er is een reeks met dubbelwerkende inschroef-panelementen voor werkstukken tot een diameter van 28 mm. Het spannen vindt plaats door middel van een trekspantang. Hiermee is het mogelijk elk aantal spanplaatsen met willekeurige afmetingen te combineren. Meervoudige opspanelementen zijn ook leverbaar. De elementen zijn berekend op een max. bedrijfsdruk van 50 MPa (500 bar).

Een tweede reeks bestaat uit blokvormige hydro-panelementen. Het spannen hierbij geschiedt eveneens door middel van een drukspantang. Verbinden van een aantal elementen maakt deze reeks vooral geschikt voor meervoudige toepassingen en pendelbewerkingen op NC-machines. Deze reeks heeft drie uitvoeringen, met een spanbereik van 3-42 mm, met een spanbereik van 6-60 mm en max. 100 mm.

Afhankelijk van de hydraulische druk zijn spankrachten van 12,2 kN tot 197 kN mogelijk. Ook hierbij kan de spandruk max. 50 MPa (500 bar) bedragen.

Voor uitvoerige info:
Technisch Bureau Meininger.
Postbus 743, 2280 AS Rijswijk.
Telefoon: 070-3401602.

ITEM Bouwstelsel

Het Item bouwstelsel omvat een programma van aluminium bouwprofielen voor industrieel gebruik waarmee voor zeer uiteenlopende toepassingen op eenvoudige wijze aantrekkelijke en praktische oplossingen zijn te realiseren.

Met dit systeem is het mogelijk elke gewenste constructie, ongeacht afmeting en uitvoering, op korte termijn te leveren,

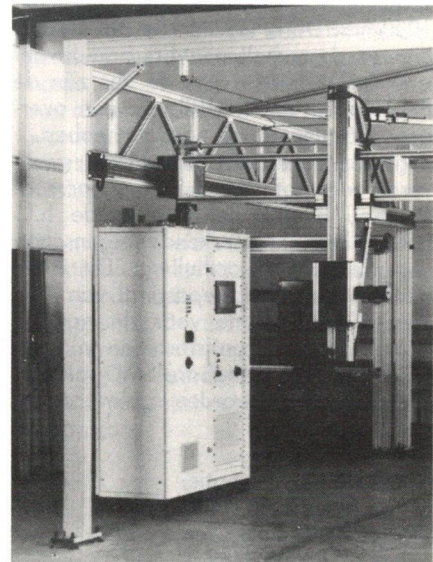
naar keuze als bouw pakket of compleet gemonteerd.

Het opvallende van dit systeem is de uitgekende opbouw, grote stabiliteit, robuuste verbindingen met slimme details, de eenheids-rastermaten en het uitgebreide pakket accessoires.

De basis van dit bouwstelsel is een reeks nauwkeurig gedimensioneerde aluminium basisprofielen met veel bevestigingsmogelijkheden. Alle profielen met doorsneden die variëren van 40 mm x 15 mm tot 160 mm x 80 mm, zijn eenvoudig aan elkaar te monteren met demontabele schroefverbindingen.

Naast dit universele profielsysteem omvat het programma van Item ook een aantal modulaire opbouwsystemen voor langseleidingen en kabelkanalen, bovendien vrij-programmeerbare bewegingseenheden voor handling- en transfer-toepassingen. Het Item systeem is ontworpen door het Westduitse bedrijf Item GmbH.

Het grote voordeel van het systeem is de tijdswinst die gemaakt kan worden omdat snel construeren en uitvoeren mogelijk is, zonder tijdrovende ontwerpwerkzaamheden. Het systeem heeft ook verschillende optie-mogelijkheden.



Voor uitvoerige info:
Technisch Bureau Meininger.
Postbus 743, 2280 AS Rijswijk.
Telefoon: 070-3401602.

Instrumentmaker

Océ is wereldwijd bekend om zijn geavanceerde producten en diensten voor het presenteren van informatie op papier. Océ-van der Grinten N.V. is de Nederlandse houdstermaatschappij van de Océ Groep die actief is in circa 90 landen, waarvan in ruim 20 landen met eigen bedrijven. De Groep heeft ruim 11.000 medewerkers en realiseert een jaaromzet van meer dan f 2 miljard.

Het uitgebreide assortiment producten en diensten van Océ omvat:

- kopieersystemen en materialen voor kantoor en tekenkamer
- systemen voor 'printing and publishing'
- plottersystemen voor technisch ontwerpen
- lichtgevoelige materialen en grafische films.

Dit assortiment wordt grotendeels door Océ zelf ontwikkeld, geproduceerd en op de markt gebracht.

De Océ Groep heeft zijn hoofdkantoor in Venlo, waar ook het grootste deel van de research, de productie en de internationale marketing is gevestigd. De centrale werkmaatschappij waarin deze zijn ondergebracht, is Océ-Nederland B.V.



In het centraal Research & Development Laboratorium van Océ Nederland B.V. in Venlo werken circa 1.000 technici. Zij verrichten toegepast wetenschappelijk onderzoek of werken in projectgroepen aan de ontwikkeling van nieuwe en de verbetering van bestaande, succesvolle producten.

De Instrumentmakerij van onze sector Research and Development is een kleine multidisciplinaire afdeling, die als taak heeft om R&D-medewerkers op een zo flexibel mogelijke wijze te voorzien van onderzoeks, meet- en testopstellingen.

Uw functie

De instrumentmaker ontwerpt, construeert en bouwt opstellingen in opdracht van R&D-medewerkers. In de beginfase van een opdracht vindt intensief overleg plaats met de opdrachtgever - die later ook de gebruiker is - over de definitie van de functie en met de chef van de Instrumentmakerij over de uitvoering van de te bouwen opstelling. Zowel onderdelen als complete opstellingen worden vervaardigd. De opstellingen zijn fijnmechanisch van aard; mechanica, elektronica en optica zijn geïntegreerd. Veelal worden deze opstellingen voorzien van computers voor besturing en dataverwerking. Technieken die door alle instrumentmakers gehanteerd worden zijn, naast de conventionele en CNC-bewerkingen, o.a. koudglasbewerking

(keramiek), superprecisedraaien (RA < 0,06 µm) en CNC-laserbewerkingen (snijden, lassen etc.).

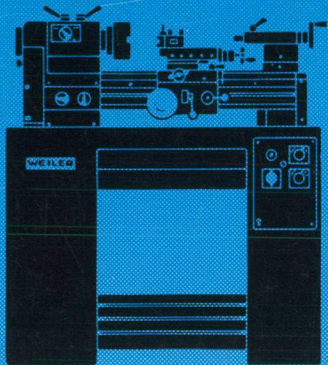
De instrumentmaker werkt binnen een kleine groep zoveel mogelijk zelfstandig. Grote opstellingen worden echter veelal in samenwerking met de andere instrumentmakers en een elektronicus gebouwd.

Functie-eisen

- bij voorkeur een opleiding aan de Leidse Instrumentmakers school, op minimaal B-niveau
- MTS-Fijnmechanische Techniek of MTS-Werktuigbouwkunde met de applicatie Fijnmechanische Techniek en/of andere gerichte vervolgoopleidingen, plus ervaring met de FMT-instrumentele technieken of als instrumentmaker in een R&D-omgeving
- een klantgerichte maar ook kritische instelling, flexibiliteit en goed kunnen werken in teamverband.

Informatie/sollicitatie

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met de heer H. Rutten, chef Instrumentmakerij, telefoon 077-592084 (privé 04703-1347). Uw schriftelijke sollicitatie kunt u richten aan mevrouw drs. M. Engels, Personeelszaken Research & Development, Océ-Nederland B.V., Postbus 101,5900 MA Venlo. Wij nodigen mannen en vrouwen uit te reageren.



WEILER precisie primus draaibank

centerafstand : 450 mm.
centerhoogte : 120 mm.
toerentallen : 30-3000 omw./min.
motorvermogen : 1,2/1,5 KW.
leverbaar met vertikaal boor- en
freesapparaat, 10 snelheden, van
85-2200 omw./min., opspantafel
300 x 220 mm.

SCHREUDER & CO

GILDENWEG 12 - POSTBUS 326
3330 AH ZWIJNDRECHT
TELEFOON 078 - 100111* - TELEX 29339

