

Kosteneffectief assembleren van microsystemen

Realiseren van microsystemen vraagt een multidisciplinaire aanpak. In het ontwerp speelt een groot aantal verschillende aspecten een rol. Op het gebied van micro-assemblage worden door TNO verschillende onderzoeken uitgevoerd, die ertoe moeten leiden dat het mogelijk wordt om microsystemen van verschillende aard kosteneffectief te kunnen assembleren.

• Jan Eite Bullema¹ •

Inleiding

Microsysteemtechnologie (MST) is een onderwerp dat sterk in de belangstelling staat vanwege het verwachte economisch potentieel. Sommige onderzoekers denken dat de rol van microsysteemtechnologie net zo belangrijk zal zijn voor onze maatschappij als de ontwikkeling van de micro processor en de daaraan gekoppelde ICT revolutie.

Een microsysteem is een elektronisch systeem met een sensor of een actuator, met een grootte van hooguit enkele kubieke centimeters.

Micro-assemblage is een belangrijk aandachtspunt binnen het onderzoek naar industriële assemblage van microsystemen dat binnen TNO plaatsvindt. TNO heeft voor dit onderzoek een micro-assemblage platform gerealiseerd. De More

Accessible, Modular Architecture, Micro Assembler ofwel MA³, dat als modulair systeem wordt ingezet bij de realisatie van industriële microsystemen. De ontwikkelde technologie wordt in samenwerking met het bedrijf MA³ Solutions BV aan marktpartijen aangeboden.

Aandachtspunten bij het ontwerpen van microsystemen

Om een succesvol microsysteem te kunnen maken, zijn de volgende aandachtspunten van belang. Ik noem ze wel de zeven zuilen van de microsysteemtechnologie.

¹ TNO Industrie

I. Materialen keuze. Een aantal materiaaleigenschappen in een microsysteem is van groot belang. Met name de matching van de thermische uitzettingscoëfficiënt is een ontwerpcriterium dat niet over het hoofd gezien mag worden. Een slechte matching leidt tot thermo-mechanische spanningen, wat het scheuren van een product tot gevolg kan hebben en dus kan leiden tot een zeer beperkte levensduur.

II. Elektronica ontwerp. Miniaturisatie is mogelijk door een elektronica ontwerp waarbij het aantal componenten geminimaliseerd is en de kleinst mogelijke componenten gebruikt worden. Er zijn veel voorbeelden waarbij de grootte van het microsysteem volledig wordt bepaald door een paar grote passieve componenten. Ontwerpers van silicium sensoren zijn in staat zeer kleine functionele sensoren te maken. Pogingen om een klein, werkend systeem te bouwen, worden bemoeilijkt doordat alleen relatief grote passieve elektronische componenten beschikbaar zijn, bijvoorbeeld elektrische weerstanden die per stuk tien keer zo groot zijn als de functionele silicium onderdelen.

De ontwerpers vergeten ook vaak metalisaties aan te brengen die verwerkbaarheid mogelijk maken in een standaard elektronica assemblageproces. Verder ontstaan problemen bij verregaande miniaturisatie met capacitieve en inductieve overspraak, die niet goed gesimuleerd kunnen worden in bestaande elektronica simulatiepakketten (standaard SPICE simulaties)

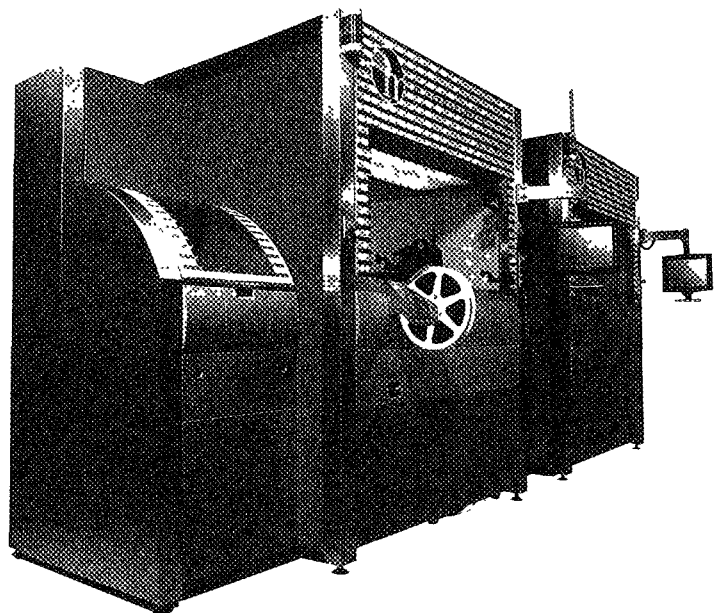
III. Componenten selectie. Een maakbaar product wordt zoveel mogelijk opgebouwd uit standaard componenten (bij voorkeur uit een database van gekwalificeerde componenten). Dit geldt ook voor MEMS (Micro Electro-Mechanische Systemen, meestal silicium) onderdelen. Er wordt door een aantal partijen gewerkt aan een COTS (Commercial Off The Shelf) database voor MEMS producten om de beschikbaarheid van standaard MEMS componenten te vergroten

IV. Schaafeffecten Effecten in microproducten kunnen sterk verschillen van effecten op macroschaal als gevolg van een verschillend samenspel van krachten. Zo wordt bij kleine onderdelen de verhouding tussen oppervlaktekrachten en inertiekrachten zodanig, dat kleine onderdelen alleen schokkerig kunnen bewegen. Een ander voorbeeld: vloeistoffen die niet goed mengen omdat in kleine kanalen de stroming altijd laminair is. De mate waarin schaafeffecten optreden, is nog maar beperkt onderzocht en kan voor verrassingen zorgen bij de realisatie van microsysteemen. Ik ga

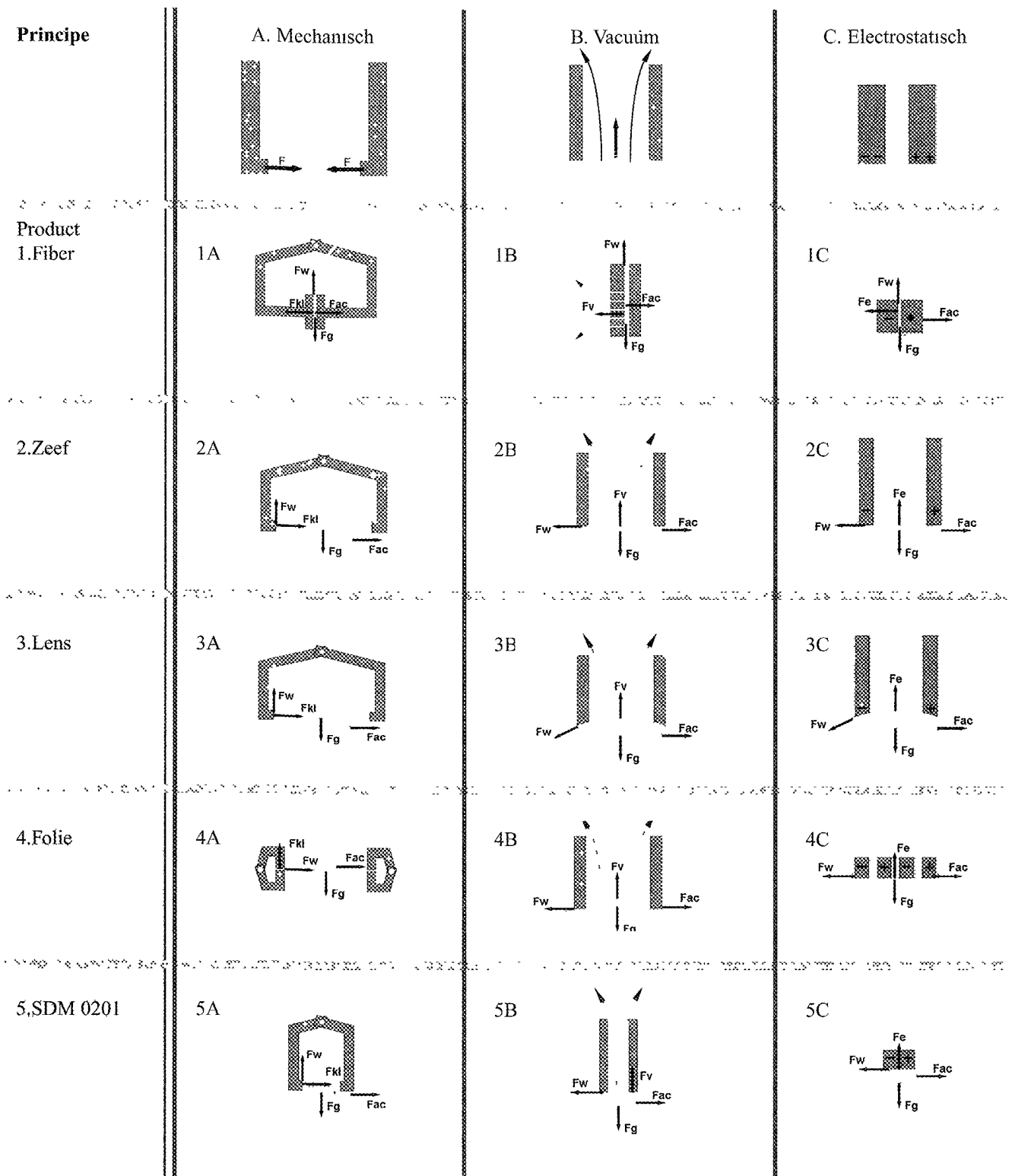
ervan uit dat praktische antwoorden voor schaafeffecten kunnen worden gevonden in een verbeterd begrip van de thermodynamica van kleine systemen.

V. Powermanagement Een klein systeem warmt veel gemakkelijker op dan een groot systeem, omdat het een veel kleinere massa en veel oppervlak in verhouding tot het volume heeft. Een zelfstandig systeem dat op een batterij werkt, mag om een lange levensduur te hebben maar een gering stroomverbruik vertonen. Het vermogensverbruik van een autonoom microsysteem is een functie van kloksnelheid, spanning en bitbreedte. Het powermanagement stelt een aantal uitdagingen op verschillende fronten. De batterij, de besturing en de koeling. Uiteindelijk moeten instructies met een paar pJ (picoJoule) per instructie verwerkt kunnen worden.

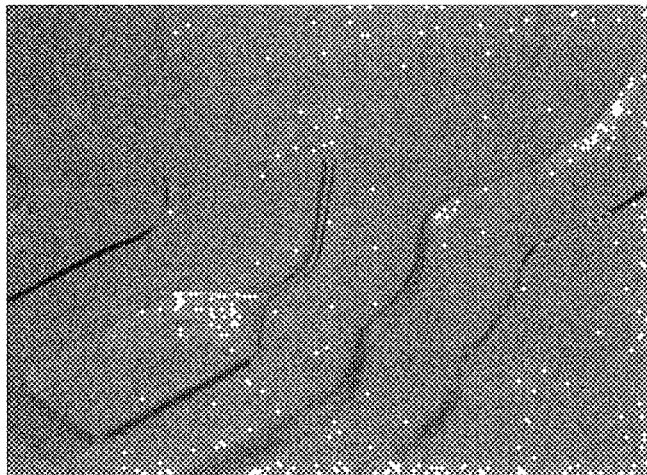
VI. Intelligentie. Een zelfstandig microsysteem heeft slimme besturing nodig. Deze slimme besturing moet in een compacte vorm worden gerealiseerd, met bij voorkeur zo weinig mogelijk instructies. De besturing moet bij voorkeur op een compacte hardware kunnen draaien. Een voorbeeld is het zogenaamde Tiny OS dat ontwikkeld is om draadloze sensoren te besturen



Afbeelding 1. Micro Assemblage platform (MA³) dat door TNO ontwikkeld is



Afbeelding 2. Overzicht van het krachtenspel dat optreedt bij de onderzochte gripper technologieën



Afbeelding 3. Microfluidisch testcircuit (kanaaldiameter is ongeveer 100 micron)

VII. Micro Assemblage. Als een microsysteem niet monolithisch wordt gerealiseerd, moeten onderdelen worden gecombineerd (hybride). Dit vereist een hoge nauwkeurigheid bij de assemblage, meestal een hoge absolute nauwkeurigheid in de orde grootte van enkele tientallen microns tot minder dan een micron. De kleine onderdelen zijn vaak ook fragiel en erg kwetsbaar. Omdat in een aantal gevallen uit het vlak wordt gewerkt, is het ook gewenst dat de nauwkeurigheid in 3D wordt geleverd. De vereiste hoge nauwkeurigheden maken het ook vaak onmogelijk om handmatig te assembleren.

Onderzoek bij TNO op het gebied van micro assemblage

Het ontwerpen en realiseren van een microsysteem is een proces waarbij de bovengenoemde zeven aandachtspunten op elkaar dienen te worden afgestemd. Als er een extreem klein systeem wordt gevraagd, dan wordt het een dure kwestie met veel dedicated elementen.

Binnen TNO is ervaring opgedaan met het ontwerpen en realiseren van systemen, waardoor een goede afweging gemaakt kan worden van deze zeven ontwerpaspecten en modulaire of-the-shelf technologie modules. Bij de inzet van of-the-shelf onderdelen en technologie kunnen microsystemen voor redelijke kostprijzen gerealiseerd worden. Afhankelijk van de aantallen zijn kostprijzen van enkele euro's tot enkele tientallen euro's per stuk al haalbaar.

Er zijn in principe drie fundamenteel verschillende benaderingen om op kleine schaal producten te assembleren uit kleine onderdelen. De eerste benadering is het per stuk

assembleren van enkelvoudige microsystemen (hybride micro assemblage). De tweede benadering is het in grote aantallen tegelijk assembleren van microsystemen (wafer level packaging). De derde benadering is het vermijden van micro-assemblage door onderdelen geïntegreerd op te bouwen (embedded functionality)

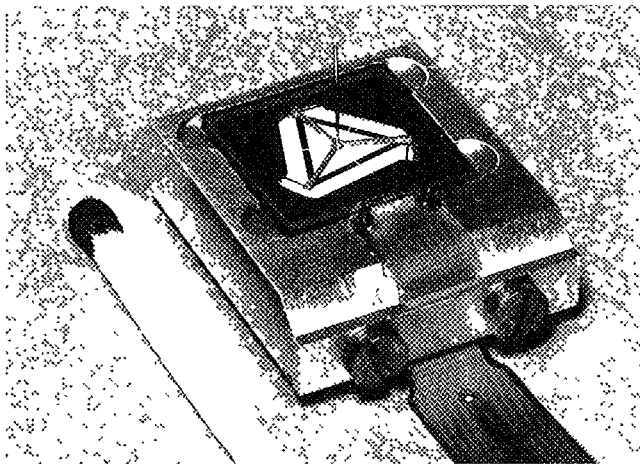
Hybride micro-assemblage

Om hybride micro-assemblage uit te voeren, moet een klein onderdeel opgepakt en nauwkeurig gepositioneerd kunnen worden. Binnen TNO Industrie lopen op dit moment drie onderzoeksprojecten op dit gebied.

Gripper onderzoek

In de wereld van de microsysteem-assemblage zijn wellicht wel de belangrijkste uitdagingen het oppakken en plaatsen van typische microcomponenten. Het gaat hierbij om het herkennen, oppakken, vasthouden, oriënteren, nauwkeurig plaatsen en loslaten van zeer fragiele en/of kleine producten. De krachten die in het totale proces op het component worden uitgeoefend, moeten nauwkeurig onder controle worden gehouden. Dit geldt zowel voor de grijpkracht als voor de plaatsingskracht.

De plaatsingsnauwkeurigheid van het component ligt vaak een orde hoger dan de plaatsingsnauwkeurigheid van standaard elektronica componenten. Als het component eenmaal op de juiste positie aangebracht is moet het nog, zonder ongewenste verplaatsing, worden losgelaten. Hierbij spelen allerlei effecten een rol die op een grotere schaal verwaarloosbaar zijn zoals: elektrostatische-, Van der Waals- en capillaire krachten.



Afbeelding 4. Meettaster met nanometer-nauwkeurigheid

Binnen het onderzoek dat TNO wil gaan uitvoeren wordt gekeken naar drie principes van grijpen: mechanisch, vacuüm en elektrostatisch. Het doel is om voor fibers, microzeven, microlenzen en dunne folies uit te zoeken welk gripper-principe het beste functioneert.

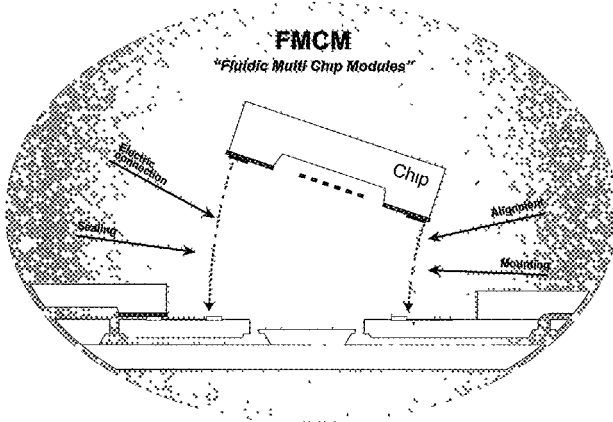
Inchpan project

In het kader van het nieuwe initiatief Micro Systeem Technologie (NIMST) wordt binnen TNO gewerkt aan het realiseren van een multichannel kunststof micro-fluidisch systeem. In één run kan de aanwezigheid van meerdere verbindingen (bv. metabolieten, hormonen, vitamines) worden aangetoond. In het ontwikkelproces van de chip wordt tot nu toe vooral met bloed als te meten vloeistof gewerkt, maar in wezen richt het project zich op het realiseren van een platform waarop diverse toepassingen kunnen worden aangebracht. De kanaaltjes op de chip zijn typisch 100 micron breed. De gevoeligheid van de gekozen assay is van belang voor de keuze van de verbindingprocessen van de verschillende onderdelen waaruit de chip bestaat.

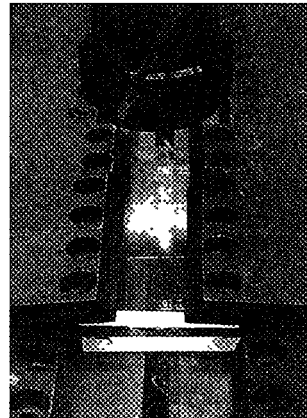
Er is bij TNO Industrie een groot aantal experimenten succesvol afgerond, waarbij werkende prototypes met behulp van laserlassen geassembleerd zijn. Daarmee is een weg gevonden in de richting van kosteneffectieve assemblage van deze 'Lab-on-a-Chip' producten.

Nanotaster

In het kader van het IOP (Innovatief Onderzoek Programma) Precisiestechnologie wordt door TNO en de TU/e gezamenlijk onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om microsystemen zodanig te ontwerpen dat ze met stan-



Afbeelding 5. Principe van de Fluidic Multi Chip Module technologie die C2V Greene Tweed en TNO gezamenlijk ontwikkelen



Afbeelding 6. Laserlassen van Lab-on-a-Chip

daard of-the-shelf-technologie automatisch geassembleerd kunnen worden. De nanotaster is een meetonderdeel voor een coördinaten-meetmachine dat met een resolutie van ongeveer 1 nanometer kan tasten. De nanotaster is een micromechanisch product dat fragiele MEMS onderdelen bevat. Er zijn al verschillende testruns uitgevoerd door TNO met dummy producten (niet functionele nanotasters) die aantonen dat het modulaire technologieconcept dat ten grondslag ligt aan de MA³ machine praktisch uitvoerbaar is. Inmiddels heeft de TU/e (ir. Edwin Bos) een herontwerp van de taster gerealiseerd, waarbij de functie behouden blijft maar de assemblage mogelijk wordt met of-the-shelf technologie.

Wafer Level packaging (WLP)

Wafer Level packaging wordt in de elektronica steeds meer toegepast. Door wafers op elkaar te stapelen (eventueel van verschillende materialen) kunnen zeer veel producten simultaan gerealiseerd worden. Na de assemblage van de wafers volgt een separatie stap en worden individuele microcomponenten verkregen. Door wafers met verschillende functionele elementen te stapelen, kunnen ook microsystemen worden gerealiseerd.

Fluidic Multi Chip Module (FMCM)

TNO voert gezamenlijk met Greene Tweed en C2V een onderzoeksproject uit, Fluidic Multi Chip Module of FMCM, waarbij onder andere assemblagetechnieken voor fluidische microsystemen worden onderzocht. Een van de assemblagetechnieken die worden onderzocht, is het inzetten van dunne gestructureerde rubbers die vloeistofkanalen afsluiten. Het assembleren van dunne (< 50 micron) gestructureerde rubbers is één van de micro-assemblage uitdagingen in dit project. Het rubber pakkingsmateriaal kan

als een tussenlaag tussen een silicium wafer en een glas wafer worden geplaatst.

Prototyping van de FMCM-testonderdelen wordt gedaan op een semi-automatisch micro-assemblagestation van het merk Dr. Tresky, waar test-assemblages met een relatief hoge nauwkeurigheid kunnen worden bereikt. Na een succesvolle proces ontwikkeling is het de bedoeling dat de micro-assemblageprocessen op de MA³ assemblage-lijn worden geïmplementeerd, waardoor goedkope serieproductie van micro-fluidische devies wordt gefaciliteerd.

Embedded functionality

Opbouw van een behuizing of een functioneel component ter plaatse ontwijkt een aantal van de problemen die aan hybride micro-assemblage zijn verbonden. Een voorbeeld van een dergelijke oplossing is het omspuiten van een optische chip met een polycarbonaat dat naast mechanische en chemische bescherming een optische functie (lens) vervult.

In het kader van het NIMST-programma binnen TNO en in het kader van MicroNed is bij TNO een onderzoeksproject van start gegaan met als doel het onderzoeken van jetting-technologie, die gebruikt kan worden om een package met de bijbehorende interconnectie rondom een functioneel microcomponent op te bouwen.

Binnen de elektronica-industrie wordt embedded passieve-technologie ontwikkeld, waarbij capaciteiten en condensatoren in een printed circuit board worden verwerkt. Daardoor kan een elektronica product kleiner en goedkoper worden geproduceerd. Deze ontwikkeling is natuurlijk ook voor microsysteem-technologie van groot belang. Een stap verder dan het integreren van passieve elektronica-componenten is het verwerken van sensor- en actuator-elementen in de wand van de package. TNO heeft een capacitieve druksensor ontwikkeld die in een post-processing-stap in

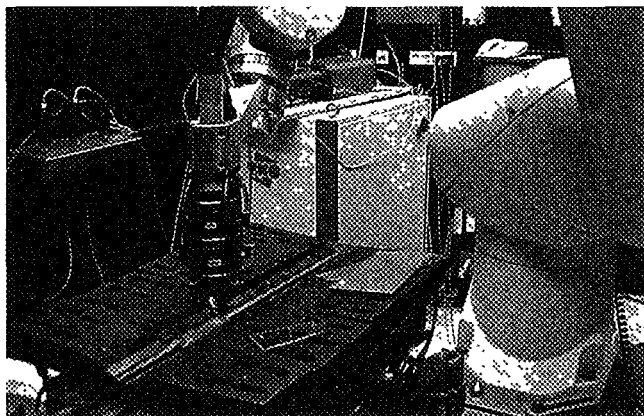
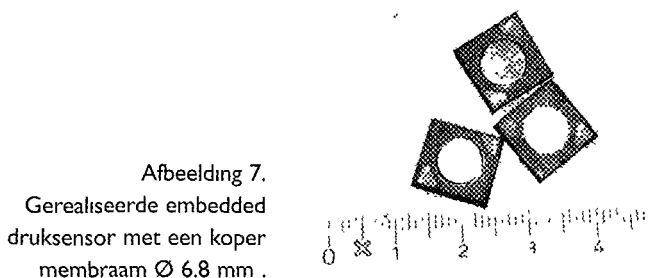


Foto Semi-automatisch micro-assemblage-apparatuur (Dr.Tresky)

een Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) substraat geïntegreerd kan worden. Het interface circuit en mogelijk ook draadloze transmissie circuits kunnen in het LTCC substraat geïntegreerd worden om een autonome sensor te realiseren.

Literatuur

- [1] Rao Tummala, Fundamentals of Micro System Packaging, 2001, ISBN 0-07-137169-9
- [2] Nadim Maluf, Introduction to Micro Electromechanical Systems, 2000, ISBN 0-89006-581-0
- [3] Laurence Singleton, MEMSTAND Survey Analysis, IST-2001-37682
- [4] Jan Eite Bullema, Design for Micro Assembly, EUSPEN 2003
- [5] M.G.H. Meijerink, 'Capacitive pressure sensor in post-processing on LTCC substrates', Eurosens 2004, to be published



Afbeelding 7.
Gerealiseerde embedded druksensor met een koper membraam \varnothing 6.8 mm .