

# Automatische micro-assemblage van microsystemen

*TNO Industrie ontwikkelt een ontwerpaanpak gericht op het produceerbaar kunnen herontwerpen van microsystemen. En samen met de firma MA3 Solutions BV ontwikkelt TNO Industrie een assemblageplatform. Het platform moet door eenvoudige herconfiguratie geschikt zijn om een groot aantal verschillende microsystemen te kunnen ontwikkelen.*

• *Jan Eite Bullema, TNO Industrie* •

**P**roducten gebaseerd op Micro System Technologie (MST) zijn sterk in opkomst. Een typisch MST-product heeft een typisch volume van hooguit enkele kubieke centimeters.

De volgende definitie wordt door Tummala in het boek Fundamentals of Micro System Packaging gebruikt: [cursief] 'Microsystems are micro miniaturised and integrated systems based on micro electronics, photonics, RF and micro electro mechanical systems [MEMS] and packaging technology' [1].

De assemblage van micro-onderdelen tot een werkend product kan alleen als productontwerp, onderdelenfabricage en beschikbare assemblagemiddelen op elkaar zijn afgestemd.

De huidige stand van de techniek is dat deze afstemming nog maar voor een beperkte categorie producten is gelukt

## **MST-producten in opkomst**

Voorbeelden van veel toegepaste MST-producten zijn inkt-jetkoppen, airbagsensoren, druksensoren en optische schakelaars. In de meeste van deze producten vormt een fijnzinnig bewerkt stukje silicium het functionele onderdeel [2]. In de afgelopen twintig jaar is er veel technologie ontwikkeld die de toepassing van MST minder risicovol maakt. Zo worden accelerometers die de kern vormen van airbagsensoren toegepast in 'slimme' pacemakers, die de hartslag van de gebruiker regelen op grond van zijn activiteitsniveau.

Dezelfde accelerometers worden toegepast in sommige spelcomputers of als productbeveiliging.

**Markten**

Volgens een in september 2003 door het Ministerie van Economische Zaken gepubliceerde nota [3] zijn er twee markten te onderscheiden. De markt van MST-componenten en de markt van MST-systemen. De markt van MST-componenten heeft in de periode 1996-2002 jaarlijks een groei laten zien van 25 procent (van 3 miljard euro in 1996 naar 11 miljard in 2002). De markt van MST-systemen is in de periode 1996-2002 jaarlijks met 18 procent gegroeid (van 14 miljard euro in 1996 naar 38 miljard in 2002). Sommigen noemen de toepassingen van MST een alternatief voor de Semiconductor business.

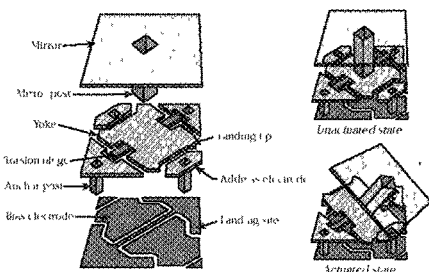
**Microassemblage van microsystemen**

Bij de microassemblage van microsystemen komt men in het algemeen de volgende problemen tegen:

- kleine, fragiele onderdelen moeten schadevrij worden verwerkt;
- hoge assemblagenauwkeurigheden zijn noodzakelijk,
- kleine onderdelen moeten worden verbonden;
- de onderdelen moeten na assemblage vaak in contact staan met de omgeving;
- de onderdelen mogen niet in contact staan met de buitenwereld.

**Kleine fragiele onderdelen**

In microsystemen is er vaak sprake van kleine, fragiele, bewegende onderdelen. Bijvoorbeeld in het Digital Mirror Device (DMD) van Texas Instruments wordt een array van ongeveer een miljoen spiegelatjes gebruikt waarbij elk spiegelatje een grootte heeft van 15 bij 15 micron. In de meeste airbagsensoren wordt een accelerometer gebruikt waarbij de testmassa



Afbeelding 1. Voorbeeld van een spiegel in een Digital Micro Mirror Device van Texas Instruments

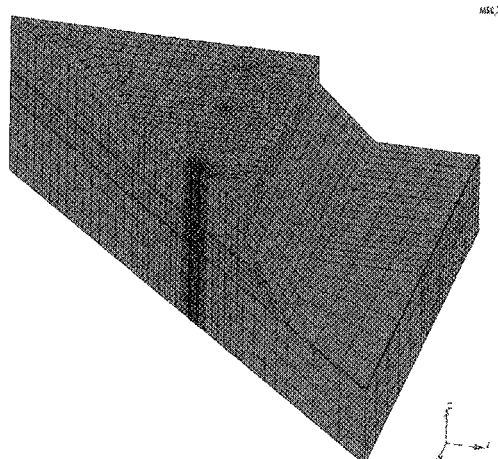
slechts een gewicht heeft van 0,3 microgram. Dit soort kleine structuren kunnen nauwelijks mechanisch worden belast. De testmassa van de accelerometer kan gaan 'verkleven' als er een kleefstof tegen wordt gegeven. Dit fenomeen wordt stiction genoemd en wordt veroorzaakt door schaafeffecten. Om dit tegen te gaan worden speciale coatings op de membranen van de accelerometer aangebracht.

**Assemblagenauwkeurigheid**

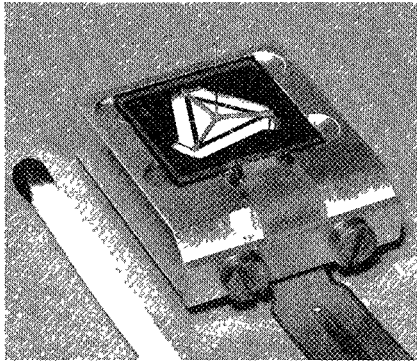
De uitlijning van een MST-onderdeel vraagt een hoge nauwkeurigheid. In een accelerometer is het bijvoorbeeld ongewenst dat de accelerometer scheef staat. Overdreven gezegd zou de gevoeligheid in de x-richting met 50 procent afnemen bij een scheefstand van 45 graden. Vanwege dezelfde reden moet de accelerometer in het vlak staan.

**Onderdelen verbinden**

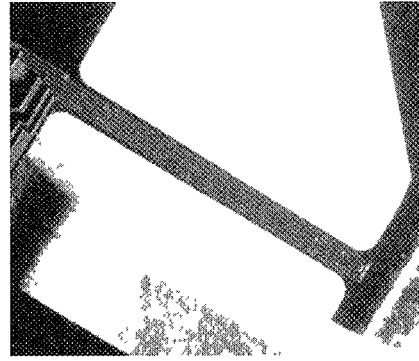
Het verbinden van micro-onderdelen kan leiden tot problemen omdat de verbindingen relatief grof zijn ten opzichte van de onderdelen. Een tweede aspect is problematiek die wordt veroorzaakt door verschil in thermisch uitzettingscoëfficiënten waardoor spanningen ontstaan of de levensduur van een product wordt beperkt. Een derde probleem is het behoud van kwaliteit van elektrische signalen. Men kan dan onder andere denken aan overgangswaarden, capacatieve- en inductieve verliezen die kunnen optreden. De soldeerdikte van een accelerometer kan de gevoeligheid doen afnemen omdat een deel van de versnelling in de ver-



Afbeelding 2. FEM Model van spanningen die tijdens uitharden van een lijm opgebouwd worden (model berekeningen van dr.ir. M. Meuwissen)



Afbeelding 3a. De meettaster met nanometer nauwkeurigheid



Afbeelding 3b. Detail van de basis van de taster met piezoweerstanden

binding wordt opgenomen. Bij veel microsystemen is de overdracht van spanning uit een -gelijmde- verbinding op de package een bekend probleem, waar de meeste bedrijven hun oplossingen uit commerciële overwegingen niet delen met anderen.

### Contact met de buitenwereld

Voor een categorie MST-producten is het gewenst dat onderdelen met de buitenwereld in contact staan. Bijvoorbeeld voor chemische sensoren en druksensoren. Dit maakt 'packaging', het beschermen van het systeem, tot een uitdaging omdat er beperkt gebruik kan worden gemaakt van de bestaande kennis en ervaring op het gebied van elektronica-packaging. Bij elektronica-packaging zijn onderdelen vaak volledig ingegoten in compound.

Oplossingen worden gezocht in de vorm van pre-moulded packages waar plastic bakjes en dekseltjes worden ingezet. In druksensoren worden vaak metalen diafragma's gebruikt die druk doorgeven aan een olie, die in contact staat met het siliciummembraan van het microstysteemonderdeel.

### Niet in contact met de buitenwereld

Voor een andere categorie microsystemen is het gewenst dat er geen of weinig contact is met de buitenwereld. Dit speelt met name bij optische schakelaars. Vocht en oxidatie vormen een belangrijke bedreiging voor de levensduur en goede werking van een dergelijk product. Het is dan gewenst een hermetische package te realiseren. Het is nog steeds een groot probleem betrouwbare hermetische packages tegen relatief lage kosten te realiseren.

### Automatische assemblage van microsystemen

TNO Industrie werkt samen met de Technische Universiteit Eindhoven aan een onderzoeksproject in het kader van het project IOP-Precisietechnologie. In dit onderzoeksproject

wordt gekeken naar de mogelijkheid een zeer fijnzinnige assemblage-stap schadevrij in een assemblagerobot uit te voeren. Daarvoor wordt er gekeken naar de mogelijkheden onderdelen, fabricage, productontwerp en assemblagemogelijkheden op elkaar af te stemmen.

De demonstrator in het IOP-project is een meettaster met nanometerprecisie. Deze meettaster is door de sectie Precision Engineering onder leiding van professor Schellekens ontwikkeld.

### Productontwerp

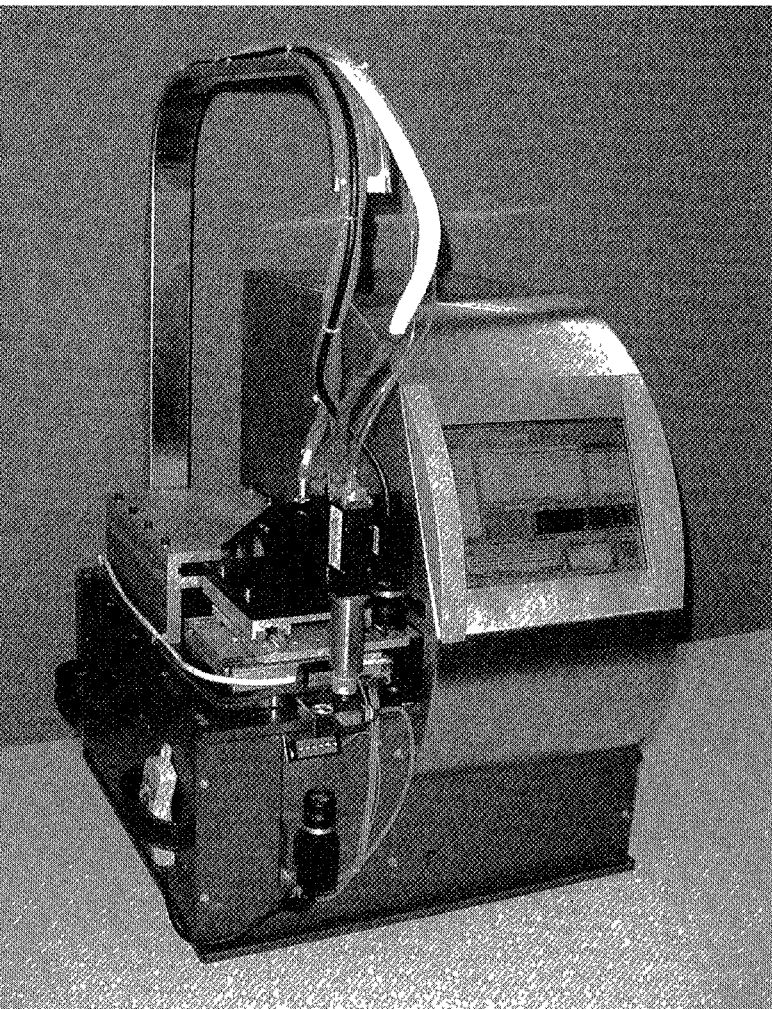
Er zijn internationaal verschillende initiatieven om tot ontwerpaanpakken te komen voor maakbare microsystemen. In Duitsland hebben de Fraunhofer Gesellschaft het zogenaamde Match-X-platform ontwikkeld voor een bepaalde categorie microsystemen. Dit zijn gestapelde Micro Elektronica Devices. TNO Industrie heeft op basis van dit platform een aantal prototypen Micro System Devices gerealiseerd. Op Europees niveau wordt in het kader van MEM-stand gezocht naar de mogelijkheid tot standaardisatie binnen de ontwikkeling van microsystemen te komen [5].

TNO Industrie ontwikkelt een ontwerpaanpak gericht op het produceerbaar kunnen herontwerpen van microsystemen. Deze Design for Micro Assembly-aanpak [6] bestaat uit ontwerpregels die ertoe moeten leiden dat een microstysteemproduct ook daadwerkelijk kan worden gemaakt. De ontwerpregels staan in rechtstreeks verband met een productieplatform voor microsystemen dat door TNO Industrie is ontwikkeld, zodat een herontworpen microstysteem ook industrieel kan worden geïmplementeerd.

Voorbeelden van Design for Micro Assembly ontwerpregels zijn.

- Micro-onderdelen met een 3D structuur zijn bij voorkeur opgebouwd uit componenten die maximaal 2,5 D zijn in verband met de produceerbaarheid;

- Als er gelijmd wordt, moet de lijm bij voorkeur van boven op het substraat aangebracht worden, behalve als er door de viscositeit van de lijm versmering kan optreden;
- Micronauwkeurigheid moet zo laat mogelijk in het proces worden aangebracht. Micronauwkeurigheid van componenten daarentegen zo vroeg mogelijk;
- Bewerkingen met een hoge energie-inhoud of bij een hoge temperatuur worden zo weinig mogelijk toegepast in een geassembleerd product of geassembleerd stel. Er kan een uitzondering gemaakt worden als het product de mogelijkheid heeft de energie goed af te voeren of te dissiperen;
- Het aantal bewerkingsprocessen en opspanningen moet zo beperkt mogelijk zijn om een hoge reproduceerbaarheid te garanderen;
- Bij het ontwerpen moet er rekening worden gehouden met afwijkingen tussen maten op tekening en de gerealiseerde chip vanwege de lage relatieve nauwkeurigheden bij micro-onderdelen;
- Registratie en uitrichting moet bij voorkeur op dezelfde onderdeellokkatic plaatsvinden,
- Bij microassemblage is in verband met trillingen de montageplaats losgekoppeld van transportsystemen of andere parallel draaiende, bewegende machineonderdelen;
- Onderdelen/verbindingen/producten moeten niet kleiner worden gemaakt dan noodzakelijk,
- Oppervlaktebewerkingen van micro-onderdelen tijdens assemblageprocessen worden zoveel mogelijk vermeden door juiste materiaalkeuzes en schone fabricagemethoden.



Afbeelding 4. Fijnmanipulatormodule voor het microassemblageplatform

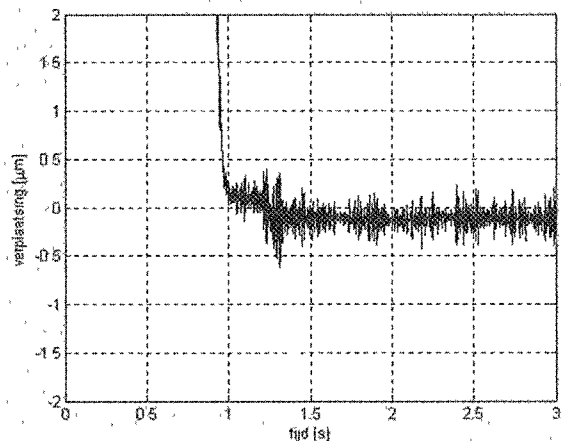
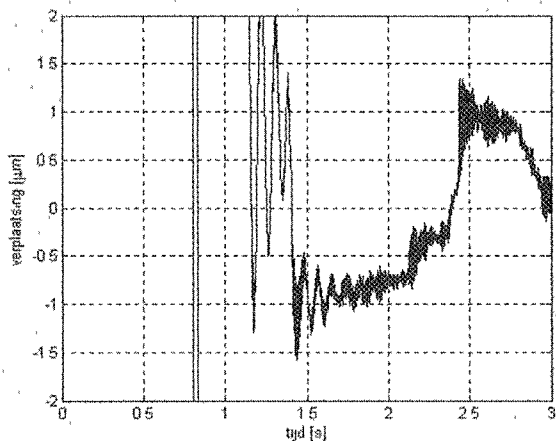
### Meettaster met nanometerprecisie

De meettaster met nanometerprecisie is een MST-systeem met de functie van het opnemen van kleine verplaatsingen in een coördinatenmeetmachine. De werking van de taster is gebaseerd op het aantasten van een oppervlak met een stylus. Bij oneffenheden op het oppervlak worden er krachten op de stylus uitgeoefend die zich vertalen in mechanische spanningen in de basis van de stylus. De basis van de stylus bestaat uit een dun silicium membraam dat uit drie benen bestaat. Door piezo-elementen in de benen van de stylus kunnen de mechanische spanningen, die een maat zijn voor de verplaatsing van de stylus, als elektrische weerstanden worden gemeten.

Om de meettaster te realiseren is het nodig een stylus nauwkeurig haaks op het silicium membraam te plaatsen. Er speelt een aantal problemen als men de assemblage van de huidige meettaster automatisch wil laten plaatsvinden.

- De dikte van het silicium is slechts 20 micrometer, waardoor er al schade aan het membraam optreedt bij het uitoefenen van krachten in de orde van enkele tientallen micronewtons. Dit komt overeen met het landen van een vlieg op de taster,
- De stylus moet met een nauwkeurigheid van beter dan 1 micrometer geplaatst worden om de meettaster met de gewenste nauwkeurigheid te laten functioneren.

In een eerste herontwerp van de taster door Edwin Bos, promovendus op de TU/e, is het gelukt de hoge meetnauwkeurigheid te behouden met minder strenge eisen voor de assemblagenauwkeurigheid, ver boven 1 micron assemblagenauwkeurigheid. Daarnaast is het aantal onderdelen van de taster verminderd door integratie van functies op silicium [8].



Afbeelding 5. Stabiliteitsmetingen aan de fijnmanipulator

### Assemblageplatform

TNO Industrie ontwikkelt een assemblageplatform in samenwerking met de firma MA3 Solutions BV dat door eenvoudige herconfiguratie geschikt moet zijn een groot aantal verschillende microsystemen te kunnen ontwikkelen. Daarnaast wordt het assemblageplatform ingezet om technologieontwikkeling te kunnen uitvoeren. Momenteel werkt TNO Industrie aan de ontwikkeling van een laserlasmodule, een flipchipmodule voor het assemblageplatform.

### Fijnmanipulator

Een van de modules in het assemblageplatform is een zogenaamde fijnmanipulator. In het kader van het beschreven onderzoek is de nauwkeurigheid van de fijnmanipulator onderzocht en verbeterd. De modules worden ontwikkeld op zogenaamde testbenches die zodanig geconfigureerd zijn dat ze naadloos in het assemblageplatform kunnen worden ingepast.

Er zijn in dit onderzoek door Gerben van Eijk, afstudeerder van de TU/e, compensatiemodellen ontwikkeld en de manier van signaalverwerking en terugkoppeling is verbeterd waardoor de fijnmanipulator in staat is binnen 1 micrometer nauwkeurigheid een onderdeel te positioneren

### Samenvatting

Het IOP PT-onderzoek van dit project is een jaar onderweg en er zijn inmiddels goede vorderingen gemaakt. Maar er liggen nog grote uitdagingen op het gebied van de wijze waarop verbindingen kunnen worden gerealiseerd en op welke manier de gevonden oplossingen kunnen worden doorvertaald naar andere gelijksoortige microsystemen.

### 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] Rapportage kansrijke marktsector combinaties EA Consulaat Generaal Munchen, september 2003
- [4] Ken Gilleo, MEMS Packaging Issues and Materials, position paper
- [5] Laurence Singleton, MEMSTAND Survey Analysis, IST-2001-37682
- [6] Jan Eite Bullema, Design for Micro Assembly, EUSPEN 2003
- [7] Wouter Pril, PhD thesis, Development of High Precision Mechanical Probes for Coordinate Measuring Machines, 2002
- [8] E.J.C. Bos, P.H.J. Schellekens, H. Haitjema, A calibration setup for a new type of nano probe., in Micro Systems Technolgies 2003; Munchen, Germany, 8, (2003)