# Mikroniek

VAKBLAD OVER PRECISIETECHNOLOGIE

JAARGANG 43 - NUMMER 6

**Precisietechnologie kan niet meer zonder luchtbehandeling • Automatische microassemblage van microsystemen • Het ontwerp van een 2-assige scanpiegel voor de ruimtevaart**

MIKRONIEK IS HET OFFICIELE ORGAAN VAN DE NVPT

# Drukte rond drukwerk?

De zorg voor drukwerk kun je heel goed uitbesteden. Twin Design bv is een grafisch full-service bureau en een specialist wat betreft het maken van boeken, tijdschriften en andere grafische uitingen. Wij bieden volledige ondersteuning en realisatie van uw producten, bijvoorbeeld housestyling, jaarverslagen, proefschriften, brochures, folders, advertenties en affiches. Ook nieuwe media, zoals webdesign, kan Twin Design voor u verzorgen.

Twin Design bv
Boschweg 2
4105 DL Culemborg
tel: 0345 – 519525
fax: 0345 – 513480
studio@twindesign.nl

www.twindesign.nl

6
Mikroniek - 2003

# In dit nummer

4 **Editorial**

5 **Precisietechnologie kan niet meer zonder luchtbehandeling**
*IC's, CD's en DVD's met details van enkele tiende µm's. Vandaag de dag doen we alsof het fabriceren van die high-tech-producten de gewoonste zaak van de wereld is.*

9 **Feiten en cijfers over de precisiebeurs 2003**

10 **Nieuwe verspaningsmachine DMS 35 Ultrasonic**

12 **Interface EnDat 2.2 verwacht**

13 **Automatische microassemblage van microsystemen**
*TNO Industrie ontwikkelt een ontwerpaanpak gericht op het produceerbaar kunnen herontwerpen van microsystemen. TNO Industrie ontwikkeld een assemblageplatform. Het platform moet geschikt zijn om een groot aantal verschillende microsystemen te kunnen ontwikkelen.*

19 **Het ontwerp van een 2-assige scanspiegel voor de ruimtevaart**
*Scanspiegels hebben een breed toepassingsgebied in zowel de lucht- en ruimtevaart als wel in toepassingen op aarde. De hier besproken scanspiegel is als voorbeeld gekozen voor technologie-ontwikkeling binnen TNO TPD met als toepassingsgebied de ruimtevaart.*

26 **NVPT nieuws**

26 **Persbericht**

## Rubriek

18 **Kennis van elkanders kunnen**

Vakblad voor precisietechnologie en fijnmechanische techniek en orgaan van de NVPT. Mikroniek geeft actuele informatie over technische ontwikkelingen op het gebied van mechanica, optica en elektronica.
Het blad wordt gelezen door functionarissen die verantwoordelijk zijn voor ontwikkeling en fabricage van geavanceerde fijnmechanische apparatuur voor professioneel gebruik, maar ook van consumentenproducten.

***Uitgave:***
Twin Design bv
Postbus 317
4100 AH Culemborg
Telefoon: 0345-519525
Fax: 0345-513480
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

***Uitgever:***
Andries Harshagen / Marije Roefs

***Abonnementen:***
Twin Design bv, Culemborg

***Abonnementskosten:***
Nederland: € 55,- per jaar ex BTW
Buitenland: € 70,- per jaar ex BTW

***Hoofdredactie***
Marije Roefs
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

***Redactiesecretariaat/eindredactie***
Mikroniek/ Marije Roefs en
Anne-Marie maatkamp
Twin Design bv
E-mail: redactie@twindesign.nl

***Advertentie-acquisitie:***
Waterfront media
Barry Stok
Tel: 078-630-5500

***Secretariaat NVPT***
Boerhaavelaan 40
Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
Tel: 079-35 31 151
Fax: 079-35 31 365
E-mail: office@NVPT.nl

***Vormgeving en realisatie:***
Twin Design bv, Culemborg

Mikroniek verschijnt zes maal per jaar
© Niets van deze uitgave mag overgenomen of vermenigvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de redactie.

ISSN 0026-3699

De coverfoto is beschikbaar gesteld door Philips ETG-CTC, Eindhoven.

editorial

# Het Young Precision Network

Hoe vaak kom je als techneut niet in de volgende situatie. Er wordt aan je gevraagd: ‘ Wat doe jij eigenlijk bij …?’, in mijn geval ASML. Ik probeer er in eerste instantie meestal eenvoudig af te komen met een antwoord in de trant van: ‘Wij maken machines waar ze computerchips mee maken’. Maar onvermijdelijk volgt de vraag wat je dan precies doet. Vervolgens probeer ik in simpele termen uit te leggen hoe die machines werken en wat mijn bijdrage daaraan is. Vaak krijgt de bij aanvang geïnteresseerde luisteraar al snel glazige ogen en voordat ik ook maar een kader heb geschetst, haakt hij of zij af met iets in de trant van: ‘ Ja, ja, interessant’.

Het probleem is de hoge mate van specialisatie in technische beroepen. Hierdoor is het bijna onmogelijk om met andere dan je directe vakgenoten een inhoudelijk gesprek te voeren over je werk. Dit kan natuurlijk met collegae maar het is ook leuk om eens andere mensen te ontmoeten waarmee je over technische onderwerpen kan praten. Om dit te bereiken hebben we enige tijd geleden het Young Precision Network opgericht. Wij zijn een clubje jonge, enthousiaste, precisietechnologen dat regelmatig bij elkaar komt. Het doel is om kennis en ervaring uit te wisselen en vooral ook om op een leuke manier in contact te komen met vakgenoten die bij andere bedrijven werken. Inmiddels hebben we deelnemers uit een aantal bedrijven uit de precisietechniek zoals: Philips, OCE, ASML, TNO TPD, DemCon, Nyquist en Medtronic.

Behalve het organiseren van excursies, themadagen en andere activiteiten willen we in de toekomst een bijdrage gaan leveren aan Mikroniek. Het kan nog even duren voor het eerste artikel verschijnt maar ik wil jullie bij deze alvast veel leesplezier toewensen.

*Joeri Lof*

*DBU Cleanroom Techniek helpt*

# Precisietechnologie kan niet meer zonder luchtbehandeling

***IC's, CD's en DVD's met details van enkele tiende µm's. Vandaag de dag doen we alsof het fabriceren van die high-tech-producten (afbeelding 1) de gewoonste zaak van de wereld is. Maar een van de voorwaarden is dat de productiefaciliteit aan de hoogste graden van stofvrijheid en stabiliteit van temperatuur en vochtigheid voldoet. Daaruit volgt dat bedrijven die apparatuur leveren voor het maken van IC's en optische media, ook niet zonder luchtbehandeling in hun montageruimten kunnen. Met nog een stap verder komen we terecht bij machine- en optiekfabrieken die de onderdelen ervoor leveren. Omdat de klant eist dat zij hun producten schoon en stofvrij afleveren, ontkomt ook een toeleverancier niet aan het installeren, huren of medegebruiken van stofvrije ruimten oftewel cleanrooms.***

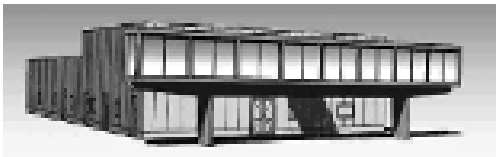
• *Frans Zuurveen* •

DBU Cleanroom Techniek in IJsselstein is gespecialiseerd in het ontwerpen, maken en onderhouden van ruimten waarin de parameters temperatuur, relatieve vochtigheid en contaminatie – zowel moleculair als met deeltjes – met uiterste nauwkeurigheid worden beheerst. De specialisten van DBU weten niet alleen alles over de technische aspecten van het meten en regelen van die parameters maar zijn ook in staat een groot project te beheren vanaf het eerste klantencontact tot en met de oplevering van een compleet geconditioneerd high-tech-gebouw.

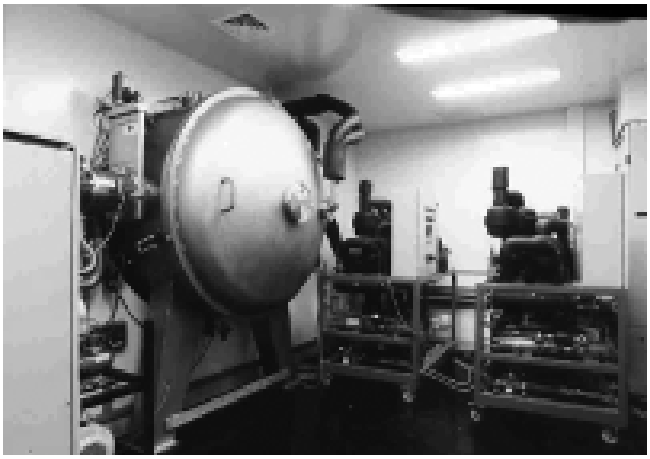
Het werkgebied van DBU Cleanroom Techniek is heel breed. Het strekt zich uit vanaf standaard-modules voor

Afbeelding 1. De fabricage van IC's in een door DBU Cleanroom Techniek geleverde productiefaciliteit.

stofarme en luchtgeconditioneerde productie, via luchtbehandelingsapparatuur voor meetkamers tot en met installaties die zijn toegespitst op fundamenteel onderzoek, inclusief het bouwkundige gedeelte. In het volgende zullen we daarvan twee voorbeelden wat uitgebreider behandelen: een ACC-unit (Advanced Climat Control), dat is een module voor het fabriceren van optische media, zie afbeelding 2, en een project van TNO TPD voor het realiseren van een gebouw voor baanbrekend nanotechnologisch en lithografisch onderzoek, zie afbeelding 3.



Afbeelding 3. Artist's impression van het nieuwe gebouw voor nanotechnologie van TNO TPD in Delft.



Afbeelding 4. Het vacuümrecipiënt en de koelunits voor de radiometrische kalibratie van satellietinstrumenten.

## DBU en Dalkia

De letters DBU staan voor De Bruijn Uniteam, de naam van een elektrotechnisch installatiebedrijf dat zijn oorsprong in Brabant heeft. Dat groeide onder leiding van Teun de Bruijn uit tot de DBU Groep. Binnen het onderdeel Industrietechniek ontstond in 1993 de werkmaatschappij DBU Cleanroom Techniek in IJsselstein. Die richt zich uitsluitend op luchtbehandeling: het beheersen van de parameters stof- en kiemvrijheid, temperatuur en vochtigheid. Dit jaar verkocht Teun de Bruijn zijn hele bedrijf aan het Franse Dalkia International, een concern met 40 000 werknemers en een wereldwijde omzet van meer dan 5 miljard euro. De twee aandeelhouders van het moederbedrijf Dalkia zijn het Franse staatsbedrijf EDF (Electricité de France) en Veolia Environnement.

Dalkia legt zich in de ruimste zin des woords toe op gebouwbeheer. Dat wil zeggen dat het zich naast het bewaken van de bouwkundige aspecten ook richt op de technische installatie en energievoorziening. Dalkia kan een bedrijf niet alleen ontlasten van de zorg voor de infrastructuur maar dat ook van dienst zijn door zgn. outsourcing. Dat wil in gewoon Nederlands zeggen dat Dalkia de technische diensten overneemt en het gebouw in perfecte conditie houdt. In dat beeld past natuurlijk ook de installatie en het beheer van stofarme en geklimatiseerde ruimten. De overname is dus een voorbeeld van een win-win-situatie, om nog maar wat jargon te gebruiken, want Dalkia verruimt zijn aanbiedingspakket en DBU krijgt ruimere investeringsmogelijkheden.

Afbeelding 2. Een ACC-unit van Dalkia DBU voor de productie van optische media.

Organisatorisch is DBU Cleanroom Techniek in IJsselstein nu een onderdeel van DBU Industrietechniek bv, dat ook onderdelen omvat die zich richten op industriële automatisering, koudetechniek en industriële dienstverlening. Behalve over kantoor- en ontwerpruimte beschikt Dalkia DBU in IJsselstein over een montagehal en klimaatkamers met testfaciliteit, waarin de omstandigheden bij een klant kunnen worden gesimuleerd en modules onder praktijkomstandigheden getest.

Na de eerste gesprekken met een klant voeren - afhankelijk van de complexiteit van een project - de ontwerpers van DBU Cleanroom Techniek eerst een haalbaarheidsstudie uit of er start direct een conceptfase met een beperkt budget. Vervolgens komt er een meer gedetailleerde uitwerking van het project, inclusief technische berekeningen en voorcalculatie. De opdracht - met een afgesproken prijs of tegen nacalculatie - houdt in dat DBU zorgt voor het inkopen van onderdelen, de montage, afregeling en installatie en voor de nazorg. De laatste bestaat uit de benodigde opleiding van personeel en het onderhouden van de installaties, althans als de klant besluit een contract voor beheer en onderhoud af te sluiten.

Een voorbeeld van zo'n turnkey-project is een facilitair gebouw voor de radiometrische kalibratie van instrumenten in aardobservatiesatellieten. DBU heeft het complete project uitgevoerd inclusief de levering van de apparatuur voor het beheersen van het klimaat in een vacuümrecipiënt, zie afbeelding 4. De temperatuurmarge voor de werkomgeving ervan bedraagt –50 tot +50 °C met een nauwkeurigheid van ± 0,1 °C.

Het beschreven turnkey-project staat aan de ene kant van het leverprogramma van Dalkia DBU, met aan de andere kant dus min of meer gestandaardiseerde modules voor het regelen van de al genoemde luchtparameters. Zulke luchtconditioneringsmachines worden niet op voorraad gehouden, aangezien ze volgens klantenspecificatie worden gemaakt en daarom in detail bijna altijd verschillen van hun voorgangers.

## Optische media

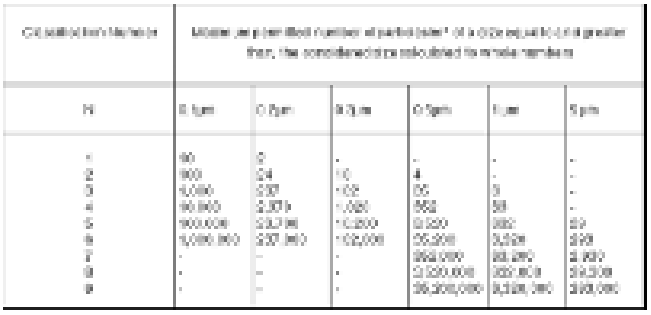
Emilio de Vet is sales- en marketingmanager van DBU Cleanroom Techniek. Als we bij een module in de testruimte staan, zie afbeelding 5, zegt hij: "CDR-productiemachines leveren in continubedrijf ruim twintigduizend CDR's per etmaal af, dus dan kun je zelf wel uitrekenen hoeveel dat er per minuut zijn. Een ACC-unit zorgt voor stofarme lucht met een nauwkeurig gestabiliseerde temperatuur en vochtigheid. Dit soort machines wordt steeds belangrijker omdat de markt vraagt om een steeds betere beheersing van productieprocessen. Door de miniaturisering van producten worden processen steeds gevoeliger voor omgevingsinvloeden, niet alleen wat betreft contaminatie door vaste delen maar ook voor moleculaire vervuiling. Omdat de mens eigenlijk de grootste vervuilingsbron is, moeten processen steeds meer worden geautomatiseerd en geïsoleerd. Belangrijke aspecten van die trend zijn het reduceren van kosten, het beheersen van kwaliteit en het minimaliseren van defecten."

De ACC-unit transporteert zijn schone lucht naar de ruimte waarin de CD's of DVD's worden gecoat. Dat is de tweede stap in het fabricageproces van persen in een spuitgietmachine, bedekken met een laklaag door middel van spincoaten en ten slotte metalliseren in vacuüm door middel van sputteren. Bij spincoaten wordt er vloeibare lak gedoseerd, die zich door de draaiing van het schijfje gelijkmatig verspreidt. Daarbij zijn temperatuur en vochtigheid bepalend voor de dikte van de laklaag en de gelijkmatigheid ervan. Vandaar de hoge eisen aan temperatuur en vochtgehalte. Maar deeltjes in en op de lak mogen het latere lezen van de digitale informatie niet verstoren. Vandaar dat de lucht uiterst schoon moet zijn.

Even een uitstapje naar de normen voor stofvrijheid. Nog niet zo lang geleden gold daarvoor de Amerikaanse Federal Standard 209B, die aangeeft hoeveel stofdeeltjes er van een bepaalde afmeting in een kubieke Engelse voet aanwezig mogen zijn. Die norm is inmiddels vervangen door standaard ISO/FDIS 14644-1, zie afbeelding 6, die bij voorbeeld zegt dat bij de zwaarste klasse 1 er niet meer dan 10 deeltjes gelijk aan of groter dan 0,1 µm in de lucht mogen zitten. De eis die doorgaans wordt gesteld aan de ACC-units is stofvrijheidsklasse 3.

Product manager Peter Roodenburg geeft verdere toelichting bij een ACC-unit die in de montageruimte in opbouw is, zie afbeelding 7. "Deze modules leveren we over de hele wereld, met name vooral in Azië. Bij een luchtverplaatsing van 2800 $m^3$/h bedraagt de nauwkeurigheid van de temperatuurregeling ± 0,1 °C en die van de relatieve vochtigheid ± 2 %. Het is een echte "plug-and-play-unit" want het op een hoge betrouwbaarheid ontworpen, compleet afgeregelde en geteste apparaat is voorzien van alle bedrading en leidingwerk, inclusief koelmiddel en olie. Alles wat de klant

Afbeelding 5. Sales- en marketingmanager Emilio de Vet bij een DBU-module in de testruimte.



Afbeelding 6. Definitie van stofvrijheid volgens ISO/FDIS 14644-1.

dan nog heeft te doen, is aansluiten op zijn luchtcirculatiesysteem en verbinden met het elektrisch net. Dan beschikt hij dus over hoogwaardig geconditioneerde en uiterst stofarme lucht. Met de juiste filters kan een ACC-unit zelfs lucht van de strengste ISO-klasse 1 afleveren."

## Nanotechnologie bij TNO TPD

DBU Cleanroom Techniek gaat in opdracht van TNO TPD een gebouw voor nanotechnologisch en lithografisch onderzoek leveren (afb. 3). Die zgn. Nanofaciliteit biedt ultraschone ruimte met een oppervlak van 700 $m^2$. De opdracht omvat de totale realisatie van de ruwbouw inclusief het ontwerpen en leveren van alle installaties en bouwkundige systemen voor de stofarme werkruimten en laboratoria.

Afbeelding 7. Een ACC-unit in opbouw in de montageruimte van DBU.

Omdat nanotechnologie allerlei perspectieven biedt voor technologische toepassingen, is TNO TPD intensief betrokken bij enkele grote initiatieven in Nederland op dat veelbelovende vakgebied. Dat zijn bijvoorbeeld NanoImpuls en NanoNed. In het kader van het programma NanoImpuls subsidieert het Ministerie van Economische Zaken met 23 miljoen euro nanotechnologisch onderzoek in Groningen (BioMADE), Twente (MESA+) en Delft (TU Delft en TNO TPD). Het project NanoNed ter waarde van ongeveer 230 miljoen euro coördineert het werk aan acht universiteiten en dat van TNO TPD.

Zowel in NanoImpuls als in NanoNed is TNO TPD betrokken bij de deelgebieden NanoInstrumentatie en NanoLab. Het onderzoek binnen NanoInstrumentatie richt zich op het ontwikkelen van instrumenten die structuren op nanometerschaal kunnen maken, inspecteren en zelfs individueel adresseren. Dat onderzoek sluit nauw aan bij de research op het gebied van EUV-lithografie (Extended UV), die TNO TPD in Delft al enkele jaren uitvoert in nauwe samenwerking met ASML en Carl Zeiss. De verwachting is dat omstreeks 2009 EUV-lithografie het mogelijk maakt structuren met details van 32 nm op een siliciumplak te schrijven.

Bovengenoemde activiteiten in het kader van NanoInstrumentatie (en andere, zoals het schrijven van structuren met details kleiner dan 20 nm met behulp van elektronenstraaldepositie) zullen plaatsvinden in het nieuwe gebouw van TNO TPD. Verder is het de bedoeling dat de genoemde programma's zullen leiden tot een zgn. NanoLab, dat is één virtueel laboratorium waarin de investeringen in Groningen, Twente en Delft als het ware worden verenigd. De Nanofaciliteit van TNO TPD gaat al plaats bieden aan de eerste aanzet in Delft van dit NanoLab. Daarbij valt in de eerste instantie te denken aan gevoelige apparatuur voor oppervlakte-analyse, aan elektronenmicroscopie en aan apparatuur waarmee structuren met kleinere details dan 100 nm kunnen worden geschreven met behulp van elektronenbundels.

## Informatie

Emilio de Vet, sales- en marketing manager
DBU Cleanroom Techniek
Postbus 156, 3400 AD IJsselstein
Tel./fax 030-6885575/6883087

*Foto's: DBU Cleanroom Techniek en Frans Zuurveen (5 en 7).*

# Feiten en cijfers over de precisiebeurs 2003

***Dit jaar heeft voor de derde keer op rij de Precisiebeurs plaatsgevonden. Woensdag 8 en donderdag 9 oktober werden de deuren voor iedere geïnteresseerde in preciesietechnologie geopend. Hieronder treft u een kort overzicht van de uitkomst van de enqûete aan die de beursbezoeker naar aanleiding van de beurs heeft ingevuld.***

**Exposanten**
90 exposanten
70% van de exposanten geeft aan deel te willen nemen aan de volgende Precisiebeurs

**Bezoekers**
1680 bezoekersaanmeldingen

**Beoordeling aangeboden technologieën/producten/diensten**
66% goed
30% voldoende

**Leverancierspresentaties**
78% van de bezoekers heeft gemiddeld 3 leverancierspresentaties bezocht
48% hiervan beoordeelt deze als goed en 45% beoordeelt deze als voldoende

**Voldeed de beurs aan uw (bezoekers)verwachtingen?**
63% goed
33% voldoende

**Belangrijkste functies van de bezoeker**

| | |
|---|---|
| Directie | 16% |
| Engineering/Constructeurs | 25% |
| R&D/Productontwerpers | 16% |
| Projectleiders | 5% |
| Inkoop | 2% |
| Marketing/Sales medewerkers | 10% |

**Belangrijkste branches bezoekers**

| | |
|---|---|
| Machinebouw | 16% |
| Apparatenbouw | 14% |
| Metaalindustrie | 17% |
| Electro(nica) | 13% |
| Consultancy | 6% |

**Interessegebieden bezoekers**

| | |
|---|---|
| Fijnmechanica | 60% |
| Meettechniek | 42% |
| Productontwikkeling | 47% |
| Precisiemachines | 46% |
| Lasertoepassing | 26% |
| Optica | 25% |
| Oppervlaktebehandeling | 33% |
| Materialen | 37% |
| Motion control | 32% |
| Micro-assemblage | 30% |

Meer informatie: www.mikrocentrum.nl of www.precisiebeurs.nl

# Nieuwe verspaningsmachine DMS 35 ultrasonic

Afbeelding 1. De vakman bij de machine

***Het Campus Technology Centre (CTC) heeft onlangs de nieuwe verspaningsmachine DMS 35 Ultrasonic in gebruik genomen. De machine is gespecialiseerd in het bewerken van geavanceerde materialen.***

Steeds meer producten worden gemaakt van kwarts, aluminiumoxide en siliciumcarbide vanwege hun karakteristieke materiaaleigenschappen (licht, stijf, chemisch resistent, temperatuurstabiel en slijtvast). Met de DMS 35 Ultrasonic kunnen snel complexe vormen in harde en brosse materialen worden gemaakt. Een belangrijke bijdrage aan deze manier van bewerken wordt geleverd door de ultrasoonspindel in deze machine.

## Werking

De machine bevat een ultrasoongenerator die een hoogfrequent elektrisch signaal levert. In de spindel wordt dit signaal omgezet in een mechanische beweging. Hierdoor pulseert de spindel 21.000 keer per seconde met een amplitude van een aantal micrometers. Door deze trilling van de spindel en zijn diamanten slijpgereedschap op het te verspanen materiaaloppervlak wordt het materiaal als het ware gebroken in zeer kleine deeltjes. De gelijktijdige rotatie van de spindel garandeert dat de deeltjes uit het werkgebied worden weggehaald. De krachten bij dit ultrasone proces zijn gering doordat er van een dynamische en akoestische terugkoppeling wordt gebruikgemaakt. Materiaalbeschadiging is hierdoor minimaal. De machine is gespecificeerd voor het halen van ruwheden kleiner dan 0,2 µm en plaatsnauwkeurigheden kleiner dan 6 µm. Daarbij worden drie vrijheidsgraden (x,y,z) numeriek bestuurd, waardoor de machine complexe vormen in producten kan maken.

## Gebruik

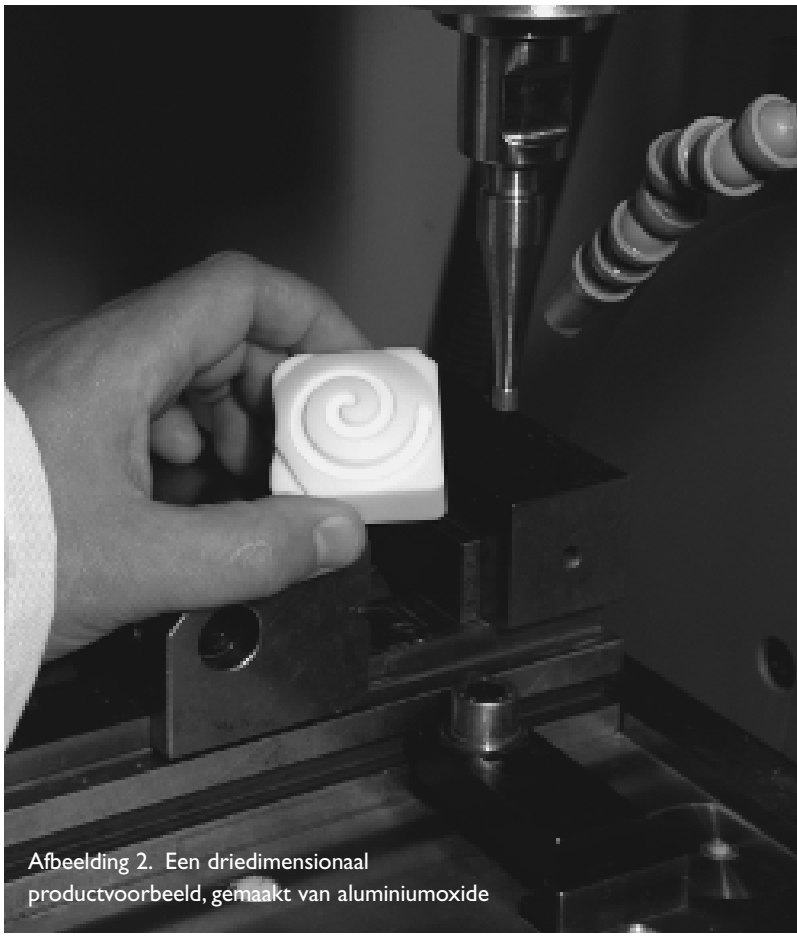
Door de aanschaf van de DMS 35 Ultrasonic, de enige in Nederland, kan het CTC voorzien in de groeiende behoefte aan producten die gemaakt zijn van harde en brosse materialen. Voorbeelden van producten waarvoor de nieuwe machine zijn diensten kan bewijzen zijn LCD-glasplaten, zerodur-spiegels voor interferometrie, röntgendeflectiekristallen voor analyseapparatuur en sensoren voor lithografische systemen. Het CTC verwacht dat haar klanten veel gemak zullen hebben van deze nieuwe machine. De drie numeriekbestuurde assen geven ontwerpvrijheden in harde en brosse materialen die voorheen niet mogelijk waren. Hierdoor kunnen nieuwe wegen worden bewandeld op het gebied van harde en brosse materialen.

## Organisatie

Het CTC is een onderdeel van Philips Enabling Technologies Group en is wereldwijd actief in onder andere de semiconductor industrie. De organisatie bevindt zich op de High Tech Campus van Philips en ontwikkelt een grote diversiteit aan mechanische/fysische processen: van het draaien van lenzen in het nanometergebied tot het uitzoeken van de optimale bewerkingstechnologie voor geavanceerde materialen.

## Voor meer informatie:

Martin Brinkhuis
Philips ETG-CTC
Tel.: 040 – 274 24 42



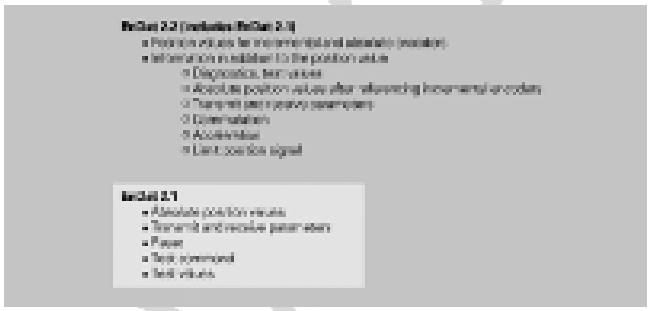
Afbeelding 2. Een driedimensionaal productvoorbeeld, gemaakt van aluminiumoxide

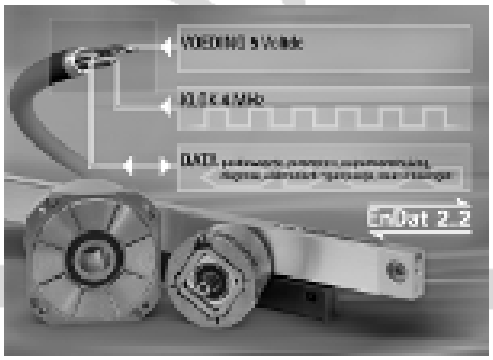
# Interface EnDat 2.2 verwacht

***Heidenhain verwacht medio 2004 meetsystemen met de EnDat 2.2 te kunnen presenteren. De EnDat 2.2 is een digitale, bidirectionele interface voor positiemeetsystemen die in staat is voor zowel absolute als incrementele meetsystemen positie-informatie en andere relevante informatie te verzenden en te ontvangen.***

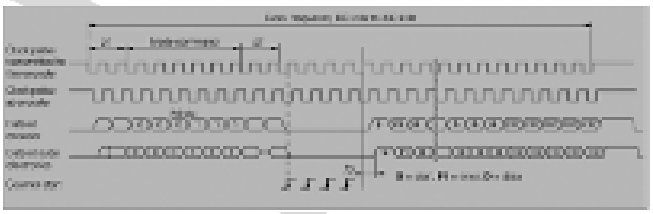
Vanwege de seriële dataoverdracht zijn bij de EnDat slechts vier signaallijnen nodig. Data wordt, synchroon met het kloksignaal, overgedragen en aan de volgelektronica aangeboden. De EnDat 2.2 is qua communicatie, instructiecommando en timing compatible met versie 2.1, maar biedt meer voordelen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk naast de positie-informatie additionele informatie mee te zenden, zonder daar eerst een extra commando voor te geven.

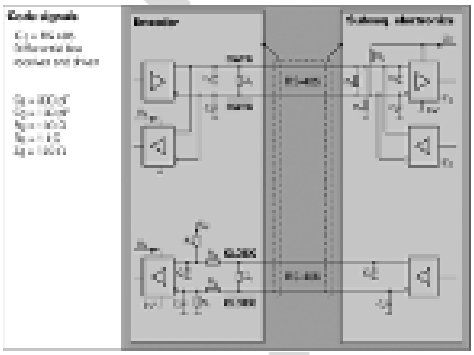
Heidenhain heeft het protocol uitgebreid en de timing geoptimaliseerd. De klokfrequentie is 4MHz (8MHz in de testfase). De rekentijd is korter (positie binnen 5µs) en de 'dead-time' is minimaal (ca. 3µs).

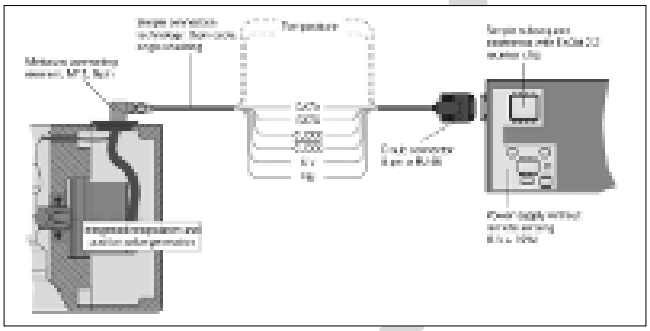





Naast de positie-informatie kunnen er een of twee datablokken met additionele informatie worden meegestuurd (status, temperatuur, snelheid, parameters). Elk informatie-







blok wordt afgesloten met een eigen CRC.
De data tussen meetsysteem en volgelektronica wordt bidirectioneel verstuurd volgens
RS-422 synchroon met een 'klok'. De klok wordt door de volgelektronica geleverd.

Meer informatie: www.heidenhain.nl

# 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* •

Producten gebaseerd op Micro Systeem 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 inktjetkoppen, 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 activiteitenniveau.

Dezelfde accelerometers worden toegepast in sommige spelcomputers of als productbeveiliging.

## Markten

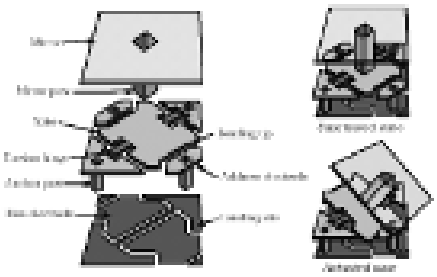
Volgens een in september 2003 door het Ministerie van Economische Zaken gepubliceerde nota [3] zijn er twee markten te onderscheiden. De markt van MST-componenten en de markt van MST-systemen. De markt van MST-componenten heeft in de periode 1996-2002 jaarlijks een groei laten zien van 25 procent (van 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 bussines.

## 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 spiegeltjes gebruikt waarbij elk spiegeltje een grootte heeft van 15 bij 15 micron. In de meeste airbagsensoren wordt een accelerometer gebruikt waarbij de testmassa slechts een gewicht heeft van 0,3 microgram. Dit soort kleine structuren kunnen nauwelijks mechanisch worden belast. De testmassa van de acclerometer kan gaan 'verkleven' als er een klein stoot tegen wordt gegeven. Dit fenomeen wordt stiction genoemd en wordt veroorzaakt door schaaleffecten. Om dit tegen te gaan worden speciale coatings op de membramen van de accelerometer aangebracht.



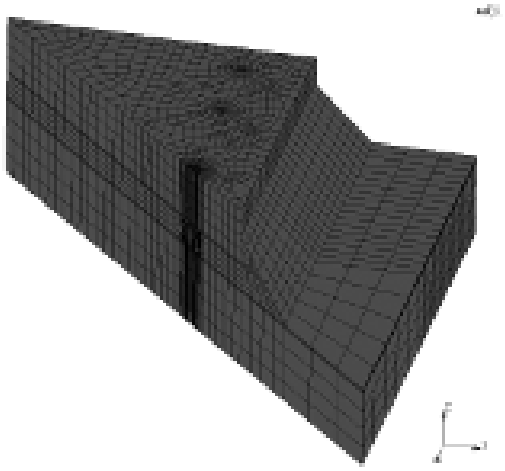
Afbeelding 1. Voorbeeld van een spiegel in een Digital Micro Mirror Device van Texas Instruments

## 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.

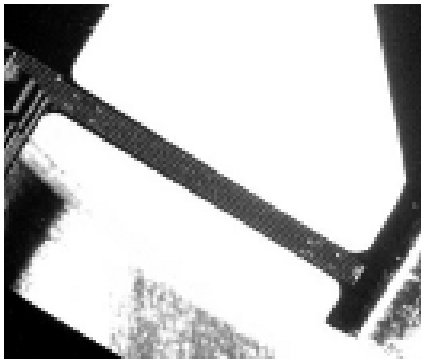
## Onderdelen verbinden

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 overgangsweerstanden, capacitieve- 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 piëzoweerstanden

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 elektronicapackaging. Bij elektronicapackaging 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 siliciummembraam van het microsysteemonderdeel.

## 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 assemblagestap 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 Gesellschafte 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 MEMSTAND 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 microsysteemproduct 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 microsysteem 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 onderdeellokkatie plaatsvinden;
- Bij microassemblage is in verband met trillingen de montageplaats losgekoppeld van transportsystemen of andere paralleldraaiende, 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

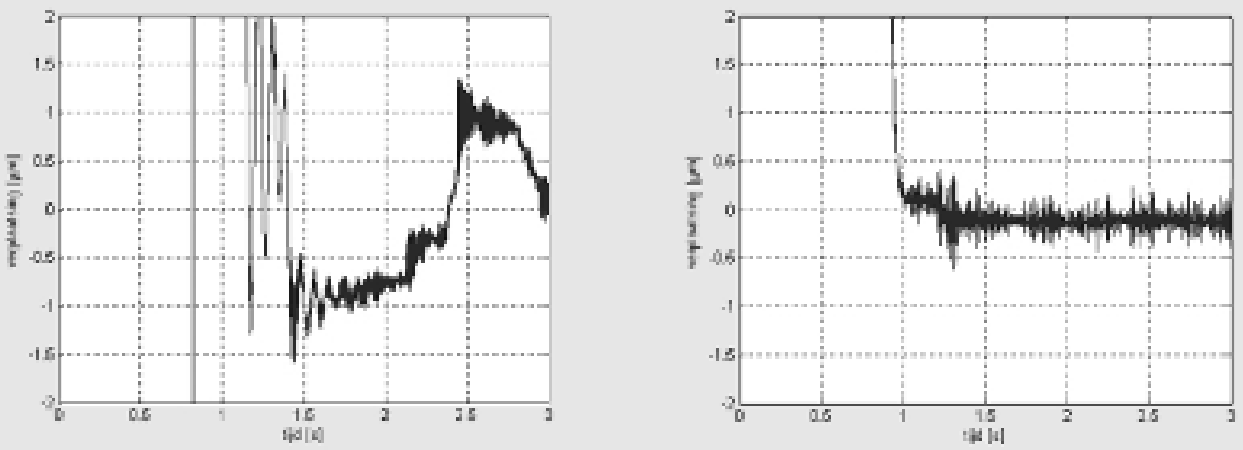
## Meettaster met nanometerprecisie

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 piëzo-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. Stabilitieitsmetingen 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 Technologies 2003; Munchen, Germany, 8, (2003)

# Precies in prestatie

***De NVPT heeft er een nieuw lid bij: Etchform BV uit Hilversum. Het bedrijf is co-maker in de proef- en serieproductie van dunne, metalen precisieproducten op tekeningspecificatie voor de Europese high-techindustrie. Etchform streeft naar een Europese toppositie op het vakgebied.***

De precisieproducten van het nieuwe lid worden geproduceerd door middel van foto- of elektrochemische etstechnieken en elektroformeertechnieken in een materiaaldikte van 5 micron-1,5 millimeter. Voordelen van deze precisietechnieken zijn dat er sprake is van een hoge precisie en een braamvrij product zonder inwendige materiaalspanningen of vervorming. De gereedschapskosten zijn laag, de materiaalkeuze is uitgebreid en ze zijn geschikt voor proef- en serieproductie.

## Specialiteit

Etchform werkt niet alleen met gangbare materialen zoals RVS en Cu-legeringen. Haar specialiteit is het precisieetsen van titaan, goud, zilver, molybdeen, tantalium, hafnium en andere 'exotische' metalen. Het bedrijf maakt contactveren, doseerringen, leadframes & connectoren, codeerschijven, flexibele fijne-lijn prints, contactstrips, heatsinks, zonnecelverbinders, spacers, positioneerringen, rosetten, filters & zeven, elektrodegrids, opdamp- en positioneermaskers voor de micro-elektronica, lucht- en ruimtevaart, instrumentatie, medische technologie, sensoren techniek en andere technologische toepassingen.
De onderneming is een gekwalificeerde leverancier voor ESA en NASA projecten.

## Productie

Na tekeningvrijgave worden filmplots vervaardigd met een plotresolutie van 16.000 of 32.000 dpi. De proef- en serieproductie vanaf 1-50.000 stuks per batch vindt plaats in stofarme ruimtes. In eigen beheer worden gewenste oppervlaktebehandelingen uitgevoerd zoals vernikkelen, verkoperen, vertinnen, verzilveren en vergulden. Het bedrijfslaboratorium heeft de beschikking over o.a. UV-VIS spectrometrie, autolab, x-ray röntgen fluorescentie, gefocusseerde belichtingsunit, spin/dip en rollencoating en een cleanroom (klasse 10.000). De TQM-filosofie maakt deel uit van het klantgericht produceren.

## Technische ontwikkelingen

Etchform beschikt over een eigen R&D-groep voor productspecifieke ontwikkelingen en heeft in de afgelopen jaren enkele onderscheidingen ontvangen:
- precisie-etsen van zonnecelverbinders uit goudfolie uitgereikt door het Innovatiecentrum Midden Nederland;
- onderzoek naar precisie-etstechnieken voor flow-sensoren, BTS voorbeeldproject van Senter;
- winnaar 'beste ondernemingsvisie' trofee het Gooi.
- deelnemer aan het Europese CRAFT ontwikkelingsproject G6ST-CT-2002-50321 SYSCOP.

## Bedrijfsfilosofie

'Precies in prestatie' is de bedrijfsfilosofie van Etchform. Een team van deskundige medewerkers is voortdurend bezig met het vinden van oplossingen. Zoals de juiste materiaalkeuze, de haalbare producttoleranties, de gewenste oppervlaktebehandelingen, productaanlevering voor automatische bewerking en andere kostprijsgunstige mogelijkheden. Etchform: "Voor de productie van zowel proefleveringen als seriematige opdrachten geldt: Just in time and zero defects."

## Lidmaatschap

De onderneming vindt het lidmaatschap van de NVPT in de eerste plaats nuttig voor het bijhouden en uitwisselen van technische ontwikkelingen op het vakgebied. Zelf denkt het bedrijf bij te kunnen dragen aan het bevorderen van de integratie van de (elektro-)chemische technologie binnen verschillende technische vakdisciplines van de precisietechnologie.

Meer informatie: www.etchform.com

# Het ontwerp van een 2-assige scanspiegel voor de ruimtevaart

***Scanspiegels hebben een breed toepassingsgebied in zowel de lucht- en ruimtevaart als wel in toepassingen op aarde, van laserbewerkingsmachines tot telescopen. De hier besproken scanspiegel is als voorbeeld gekozen voor technologieontwikkeling binnen TNO TPD met als toepassingsgebied de ruimtevaart. In het ontwerpproces is een ontwerpfilosofie gehanteerd waarbij nauw wordt samengewerkt tussen de gebieden: fijnmechanisch ontwerpen, dynamica en regeltechniek. Het doel van deze korte ontwerplus is het vroegtijdig optimaliseren van het ontwerpproces van complexe fijnmechanische systemen waarin dynamica en regeltechniek een belangrijke rol spelen. De ontworpen scanspiegel heeft een spiegel van 77 mm x 109 mm en een hoekbereik van ±7,5° x ±1,0°. De scanspiegel moet kleine hoekverstoringen tot 200 µrad met een frequentie van 100 Hz corrigeren.***

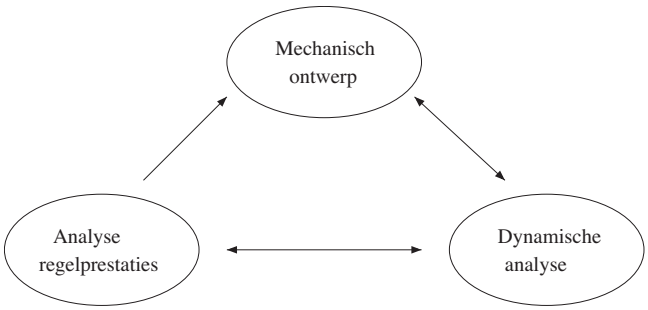
• *Jeroen Heijmans(1), Joep Pijnenburg(2), Arthur Berkhoff(2) en Martijn Termeer(2)** •

## Inleiding

Gezien het belang en de complexiteit van de regeltechnische- en dynamische aspecten van de scanspiegel is dit onderwerp gekozen voor de genoemde technologieontwikkeling. De ontwerplus die hierbij gehanteerd is, is schematisch weergegeven in afbeelding 1.

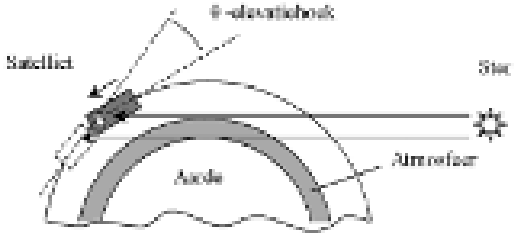
De beoogde ruimte-telescoop waarvoor de scanspiegel kan dienen, zal aan boord van een satelliet onderzoek doen naar de samenstelling van de atmosfeer. De werking van dit instrument is gebaseerd op de spectrale verandering van sterlicht wanneer dit door de atmosfeer schijnt. De beweging van de satelliet rond de aarde en het pad van het sterlicht

*1 Technische Universiteit Eindhoven, faculteit Werktuigbouwkunde
2 TNO TPD Delft, Postbus 155, 2600 AD Delft




Afbeelding 1. Schematische weergave van samenwerking in het ontwerpproces

door de atmosfeer zijn schematisch weergegeven in afbeelding 1.



Afbeelding 2. Schematische weergave van het werkingsprincipe

Om de verschillende geschikte sterren in beeld te krijgen en te volgen met een maximaal toelaatbare onnauwkeurigheid van 30 µrad is een scanspiegel nodig. De scanspiegel moet daarbij ook hoekverstoringen tot 200 µrad corrigeren die optreden als gevolg van samenstelling- en toestandvariaties in de atmosfeer.
In een samenwerkingsverband van TNO TPD met de Technische Universiteit van Eindhoven is hiervoor een ontwerp gemaakt.

**Uitvoeringseisen:**

| | |
|---|---|
| (Elliptische) spiegelafmeting: | 109mm x 77mm |
| Gezichtsveld | ±7,5° (azimut) x ±1,0° (elevatie) |
| Max. hoekonnauwkeurigheid | 30 µrad |
| Aanstuurfrequentie: | >100 Hz |

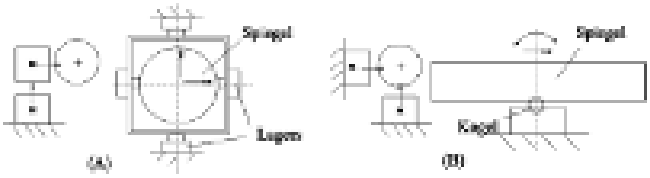
**Ruimtevaarteisen:**

| | |
|---|---|
| Temperatuursbereik | -40°C tot 60°C |
| Vacuüm | $1 \cdot 10^{-3}$ Pa |
| Levensduur | > 5 jaar |
| Versnellingen gedurende de lancering | 45 g |
| Alg. eigenschappen: | Lage massa, volume en vermogen |

Tabel 1. Eisen aan de scanspiegel

De belangrijkste eisen waaraan de scanspiegel dient te voldoen staan opgesomd in tabel 1.

Opbouw:
De scanspiegel moet met relatief hoge frequenties scannen waardoor de dynamische eigenschappen van de scanspiegel een belangrijke rol spelen. De spiegelmassa en het traagheidsmoment dienen om deze reden laag te blijven. Door de (virtuele)rotatiepool samen te laten vallen met het massamiddelpunt blijft het het traagheidsmoment minimaal. Daarnaast is het van belang dat de rotatiegeleiding het traagheidsmoment zo min mogelijk verhoogt. Er zijn hierbij twee configuraties mogelijk: De seriële uitvoering, waarbij de rotatie-assen zijn gestapeld, en de parallelle uitvoering. Beiden zijn weergegeven in afbeelding 1 met daarbij een uitvoeringsvoorbeeld.
De meest voorkomende configuratie voor het uitvoeren van grote hoekverdraaiingen is de seriële uitvoering met gelagerde assen. In dit geval draagt de rotatie-as welke staat afgesteund op de vaste wereld zowel de spiegel als de tweede rotatie-as. Het hiermee betrokken traagheidsmoment is groter dan wanneer de rotatiegeleiding parallel wordt uitgevoerd. Daardoor heeft de laatste de voorkeur.



Afbeelding 3. Schematische weergave met uitvoering van: a. Seriële versus b. Parallelle configuratie

Een andere afweging met betrekking tot de rotatiegeleiding is het toepassen van lagers of elastische elementen. Voor het uitvoeren van de vereiste rotaties van ±7,5° x ±1,0° behoort een elastische rotatiegeleiding nog tot de mogelijkheden. Voordelen van de elastische geleiding is dat er geen hystereses optreedt welke de minimale hoekonnauwkeurigheid limiteert, er geen smering hoeft te worden toegepast en de geleiding, mits goed uitgevoerd, een oneindige levensduur heeft.
De elastische rotatiegeleiding dient hierbij de twee scanrotaties met een zo'n laag mogelijke rotatiestijfheid vast te leggen om het actuatiekoppel klein te houden. De overige vrijheidsgraden dienen met hoge stijfheid te worden vastgelegd.

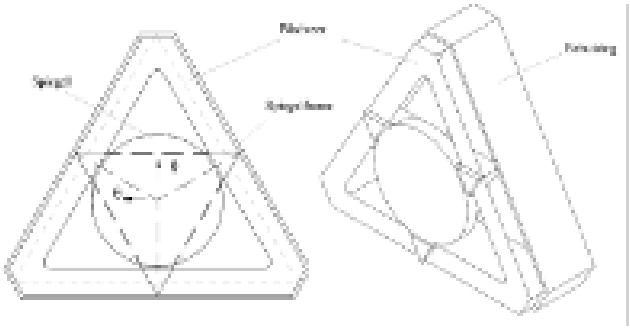
Concepten:
Hiervoor zijn twee concepten bedacht waarin het eerste concept voor de rotatiegeleiding bestaat uit drie radieel geplaatste, gevouwen bladveren. Dat is te zien in afbeelding 4.

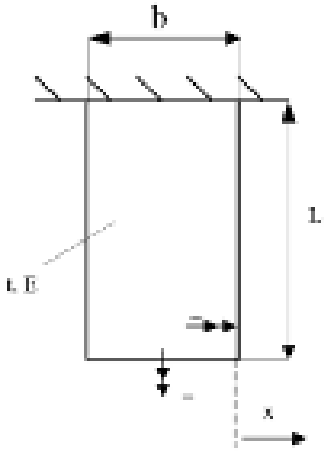
De bladveren zijn vervolgens middels een 'spiegel-krachtframe' verbonden aan de spiegel om deze spanningsloos op te hangen. De spiegel kan hierdoor dun worden uitgevoerd waardoor de spiegelmassa laag blijft.
De (z)-hoogte van de spiegel is door de bladveren nog niet vastgelegd en dit zou kunnen gebeuren door een spriet te plaatsen onder het midden van de spiegel. Omdat de belasting van de spriet echter ongunstig is bij de grote rotaties rond het massamiddelpunt in de spiegel, en een directe bevestiging met (en belasting van) de spiegel moet worden vermeden is er een ander oplossing bedacht. Er worden drie actuatoren toegepast welke zowel de twee scanrotaties als de (z)-hoogte bepalen. De actuatoren worden aan de stijve hoekpunten van het spiegel-krachtframe bevestigd. Op deze manier is er een symmetrisch ontwerp gecreëerd met een thermisch centrum in het midden van de spiegel.

De gevouwen bladveren leggen ieder één vrijheidsgraad vast waarmee de translaties x, y en de rotatie ψ van de spiegel vastliggen, zie afbeelding 4a. De bladveren lopen naar buiten smal toe wat de hoogkante-buigstijfheid benadert. Dit wordt beschreven met:

$$C_{x,hoogk} = \frac{tb^3 E}{12L} \quad (1)$$

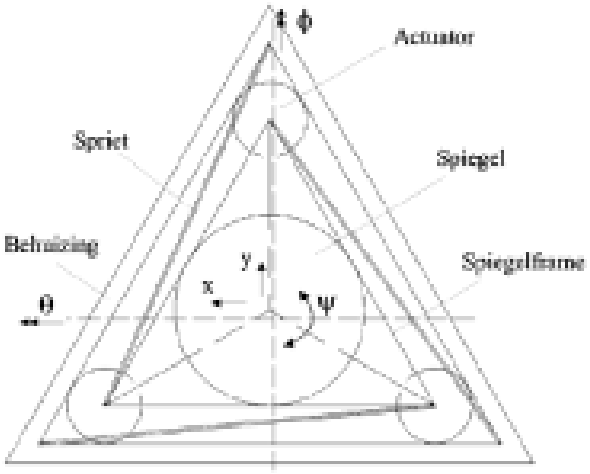
Waarin:
't' staat voor de dikte; 'b' voor de breedte 'E' voor de E-modules en 'L' voor de lengte van de bladveer. Dit is aangegeven in afbeelding 4b.






Afbeelding 4a.
Rotatiegeleiding met drie gevouwen bladveren, b Bladv. dimensies

Het materiaal in het midden van de bladveer is verwijderd waardoor een V-vorm ontstaat. Hierdoor is de buig- en torsiestijfheid verlaagd en stijgt de eigenfrequentie van de bladveer.
Het is van belang om de dikte 't' te minimaliseren voor een zo laag mogelijke buig- en torsiestijfheid van de bladveer,




Afbeelding 5a. Rotatiegeleiding met tangentiële sprieten

Afbeelding 5b. De sprietuitvoering met elastische elementen

($K_{buiging}$,θ ; $K_{torsie}$ ,φ ($t^3$, $E^{-1}$) en om de optredende spanning laag te houden($\sigma_{buig}$, $\tau_{torsie}$ ($t^{-2}$). Door staal te gebruiken met een hoge E-modulus en vloeispanning kan een bladveerdikte van 0,15 mm worden gebruikt en toch worden voldaan aan de vereiste hoogkante-buigstijfheid. Dit komt echter niet ten goede aan de knikkracht. De knikkracht wordt beschreven volgens vergelijking (2):

$$F_p = 0{,}42\frac{bt^3E}{L^2} \quad (2)$$

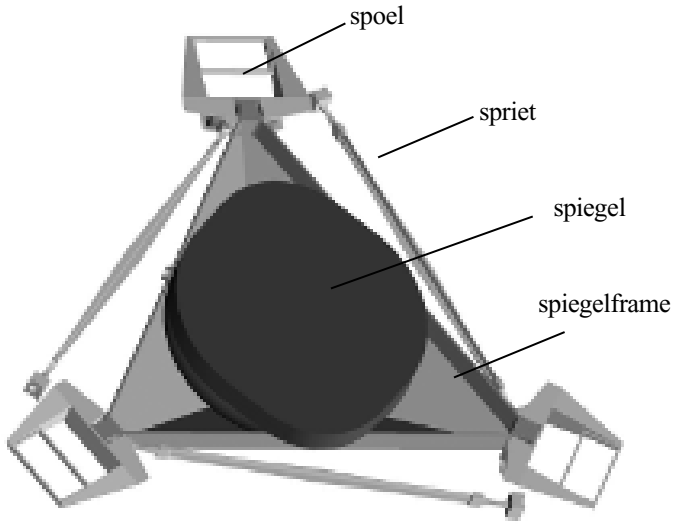
De geoptimaliseerde stalen bladveren waarvan de randen zijn omgezet blijken dan ook kritisch te zijn voor de gestelde lanceerbelasting van 45 'g'.

Het tweede concept voor de rotatiegeleiding bestaat uit drie tangentieel geplaatste sprieten, afbeelding 5a. De stijfheid van de gevouwen bladveer in zijn vouwlijn is nu vervangen door de hoge axiale stijfheid van de spriet. Het spiegelframe zorgt er voor dat er een grote sprietlengte ontstaat waardoor het mogelijk wordt om de grote rotatie van ±7,5° elastisch uit te voeren. Omdat een dunne spriet echter niet zal voldoen aan de gewenste hoge knikkracht en eigenfrequentie, moet het middendeel verstijfd worden. Een andere mogelijkheid is om de sprieten voor te spannen door een koppel aan te brengen rond de hartlijn van de spiegel. Een andere en de meest gunstige sprietuitvoering is weergegeven in afbeelding 5b. In deze uitvoering wordt voldaan aan een hoge knikkracht, eigenfrequentie en axiale stijfheid en zijn de stijfheden in de overige richtingen het laagst.

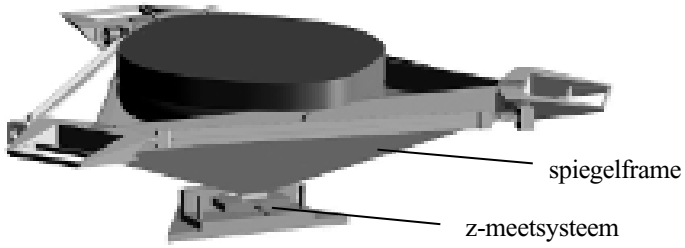
De vijf vrijheidsgraden van de spriet zijn hierin opgesplitst over vijf elastische elementen. Het kruisvormige profiel in het midden zorgt voor een lage torsiestijfheid en een hoge buigstijfheid. De vier overige elastische scharnieren laten ieder elk één rotatie vrij. Op deze manier krijgt de spriet een zeer lage stijfheid in de vijf richtingen waarin dit is gewenst en toch een hoge axiale stijfheid, knikkracht en eigenfrequentie. De sprieten zijn uitgevoerd in een titanium-aluminium legering met een hoge vloeispanning van 1200 MPa en een E-modulus van 115 GPa. Dit maakt het mogelijk om de elastische scharnieren op de sprietuiteinde de grote hoekverdraaiing te laten uitvoeren.

| | Bladveren | Sprieten uit elastische elementen |
|---|---|---|
| Stijfheid: $K_{scanrot}$, Nm/rad | 0,9 | 0,3 |
| Stijfheid: $C_{invlak}$, N/m | $4 \cdot 10^6$ | $3 \cdot 10^6$ |
| Knik: $F_p$, N | 200 | 450 |

Tabel 2. Eigenschappen van de rotatiegeleiding uit bladveren en sprieten




Afbeelding 6a. Samenstelling spiegel, frame, spoelen en sprieten




Afbeelding 6b. z-sensor onder spiegelframe

Wanneer nu de eigenschappen van beiden concepten naast elkaar worden gelegd, tabel 2, dan geeft de zojuist besproken sprietuitvoering de laagst mogelijke (scan)rotatiestijfheid. Daarbij wordt tevens aan alle overige eisen voldaan.

## De spiegel

De spiegel die de grootste massa en traagheidsmoment bezit is uitgevoerd in silicium carbide en elliptisch van vorm. Silicium carbide heeft een zeer hoge specifieke stijfheid en gunstige thermische eigenschappen. Wanneer de buigstijfheid wordt vergeleken met die van een opgelegde aluminium spiegel dan kan de silicium carbide spiegel bijna twee maal zo dun en 45 % lichter worden uitgevoerd.
Met een traagheidsmoment van de SiC-spiegel van $2{,}4 \cdot 10^{-4}$ $kgm^2$ en een massa van 0,32 kg kunnen samen met de stijfheden uit tabel 2 de volgende eigenfrequenties worden voorspeld:
In de richting waarbij de eigenmode overeenkomt met de scanrotatie:

$$f_e = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{K}{J}} = 5\text{Hz} \quad (3)$$

De door de geleiding vastgelegde translaties in het vlak van de spiegel:

$$f_e = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{C}{m}} = 480\text{Hz} \quad (4)$$

De eigenfrequentie van 5 Hz ligt onder de te verwachten laagste stoorfrequentie van 10 Hz . De eigenmode bij een frequentie van 480 Hz waarbij de spiegel in zijn spiegelvlak beweegt, ligt bijna een factor vijf hoger dan de aanstuurfrequentie van 100 Hz. Deze waarden tonen de goede eigenschappen van de ontworpen rotatiegeleiding.
Het spiegelframe waar de spiegel aan is bevestigd is een piramidevormige aluminium frame waarvan de bovenzijde open is. Zie afbeelding 6. Hierdoor ontstaat een zeer licht en stijf geheel in de richting waarin dit is gewenst en is het frame slap daar waar de spiegel aanligt. Door de spiegel op deze drie plaatsen in twee vrijheidsgraden te bevestigen ligt de spiegel statisch bepaald in het frame. De thermische uitzettingsverschillen worden op deze wijze opgevangen met minimale introductie van spanningen in de spiegel.

## De actuatoren

Aan de stijve hoekpunten van het spiegelframe zijn de actuatoren bevestigd. Er is gekozen voor electro-magnetische actuatoren omdat deze een contactloze beweging kunnen uitvoeren met een groot bereik en een lage onnauwkeurigheid. Door de spoelen te plaatsen in de hoekpunten van het spiegelframe wordt een grote armlengte gecreëerd. Dit zorgt voor een lage actuatiekracht en een hoge (scan)rotatiestijfheid.

De spoelen zijn het lichtste onderdeel van de actuatoren en zijn aan het frame gemonteerd. Het magneetcircuit staat afgesteund op de vaste basis.

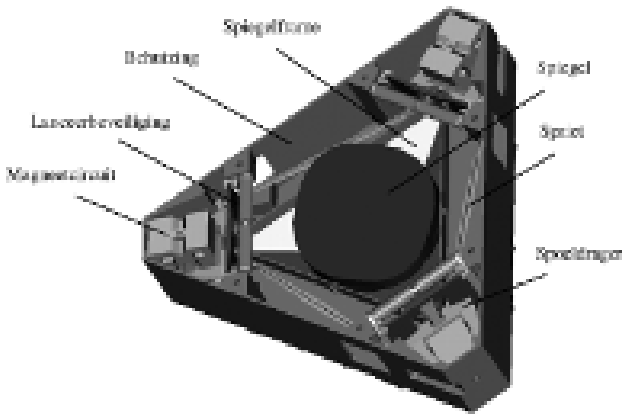
## De sensoren

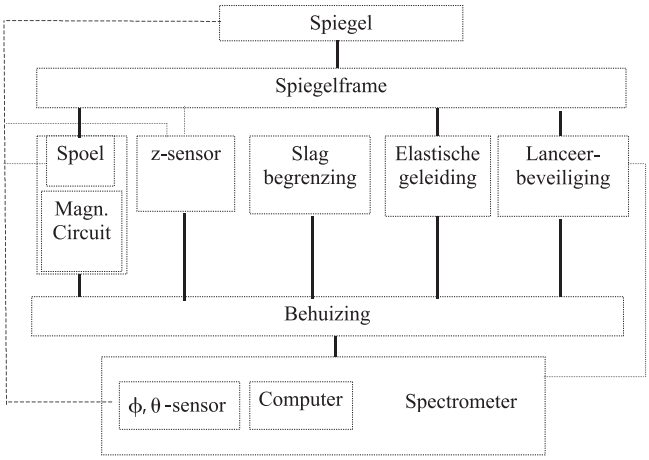
Voor het meten van de scanspiegelposities moet in de scanspiegel een sensor worden opgenomen die de z-hoogte meet. De twee rotaties worden gemeten in de telescoop aan de hand van de uitgaande lichtbundel op een PSD-sensor. De z-hoogte van de spiegel wordt gemeten door aan de onderzijde van het spiegelframe in de hartlijn van de spiegel, een capacitieve sensor te plaatsten, zie afbeelding 6b.

De sensor meet contactloos de hoogte van een dubbelgekromd oppervlak die is bevestigd aan de piramidepunt. Op deze manier kan de hoogte onafhankelijk van de scanrotaties worden bepaald en is één sensor afdoende.

## De lanceerbeveiliging

Voordat de satelliet in zijn baan is gebracht en de scanspiegel operationeel wordt, moet de spiegel vast worden gezet. De ontworpen sprietgeleiding heeft een hoge stijfheid in drie vrijheidsgraden en een voldoende hoge knikkracht en eigenfrequentie om te kunnen worden gebruikt gedurende de lancering. De lanceerbeveiliging moet de overige vrijheidsgraden vast zetten: de scanrotaties en de hoogte van spiegel. Deze worden vastgezet door de drie stijve hoekpunten van het spiegelframe geometrisch vast te zetten in de z-hoogte. Het vrijgeven van het spiegelframe gebeurd door middel van een elastisch geleide beweging die wordt uitgevoerd door middel van electro-magnetische actuatoren.



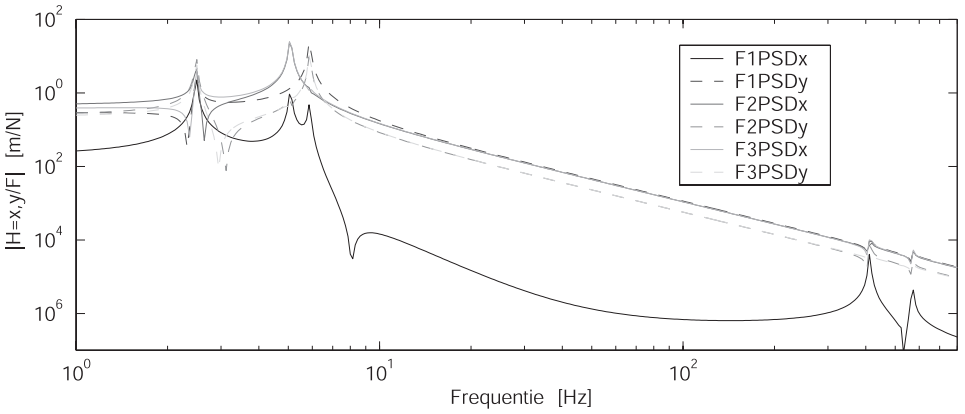

Afbeelding 7. Samenstelling en schematische weergave van de scanspiegel

De geassembleerde scanspiegel in een aluminium behuizing komt er als volgt uit te zien, zie afbeelding 7.

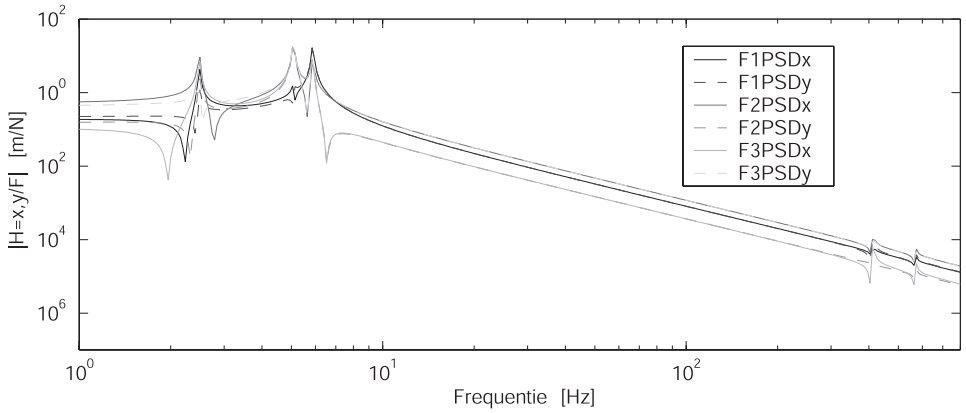
## Dynamica analyses

De scanspiegel maakt grote rotaties voor het zoeken en volgen van sterren. Tijdens het volgen van een ster maakt de scanspiegel kleine rotaties voor het corrigeren van kleine hoekverstoringen. De grote rotatie van 7,5 graden rond de azimut-rotatieas veroorzaakt in meer of mindere mate geometrisch niet-lineair gedrag. Om te kijken of de dynamische eigenschappen gevoelig zijn voor deze schuinstand zijn de modes en overdrachten bepaald in de nominale 0 en 7,5 graden gekantelde stand. In een modale superpositie worden overdrachten bepaald, met behulp van de modes en eigenfrequenties, van drie actuator posities naar vier translaties op de spiegel. De translaties worden middels de afstanden tot de rotatiepool omgerekend naar twee hoekverdraaiingen van de spiegel. De hoeken worden vervolgens weer omgerekend naar x en y verplaatsingen op de lichtgevoelige PSD-sensor met een weglengte van µm. De standveranderingen blijken van kleine invloed te zijn voor de dynamica. De verwachting is dat de adaptieve regelaar die het mechanisme moet aansturen van deze veranderingen in de overdrachten geen last heeft.

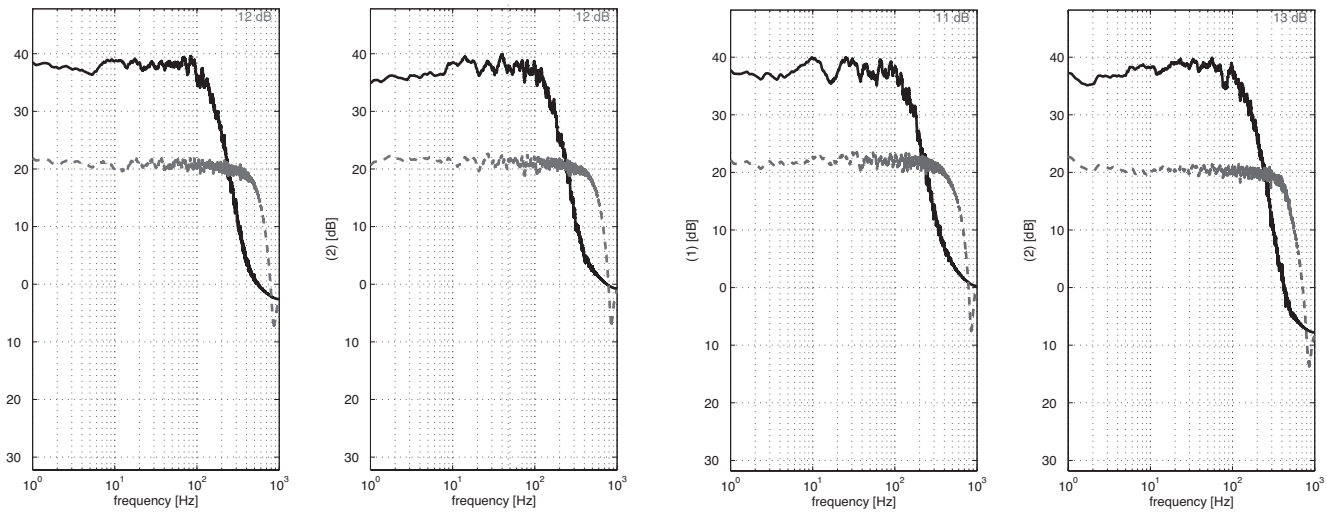
De uiteindelijke set overdrachten die gebruikt wordt om de regelprestaties te bepalen is dus een matrix van 3 bij 3: van drie krachten naar de z-verplaatsing ten opzichte van het spiegelcentrum en de x- en y-verplaatsing op de PSD-sensor. De overdrachten worden bepaald van 0 tot 800 Hz met 15 modes en een dempingsverliesfactor van $\eta$=0.01.
Wanneer de PSD-sensor zo is opgesteld dat een rotatie om de elevatie-as leidt tot zuiver x verplaatsing op de PSD-sensor, worden de volgende overdrachten gevonden, zie afbeelding 8. Hierbij is F1 de kracht van de actuator die op de azimut-rotatieas van de spiegel ligt.
Voor een hoek van 45 graden tussen de elevatie-as en de x-as van de PSD-sensor, worden andere overdrachten gevonden, waarbij de kracht van actuator 1 bijdraagt ('volledig gekoppelde') aan beide verplaatsingen op de PSD-sensor zoals in afbeelding 9 te zien is.




Afbeelding 8. Absolute waarde van overdrachten van drie actuatorkrachten naar x en y verplaatsingen op de PSD.




Afbeelding 9. Absolute waarde van overdrachten van drie actuatorkrachten naar x en y verplaatsingen op de PSD voor de 'volledig gekoppelde' situatie.




Afbeelding 10. Regelprestaties van de spiegel (Doorgetrokken lijnen zonder regelaar, gestippeld met regelaar).
Voor de 0° situatie (10a) wordt 11 en 13 dB reductie gehaald in respectievelijk de x en y verplaatsing; voor de 45° situatie (10b) voor beide verplaatsingen 12 dB.

## Regeltechnische analyse

De voorspelling van de prestatie van het systeem is gebaseerd op een kwadratische criteriumfunctie, met als geminimaliseerde sensorsignalen de x- en y-signalen van de PSD-sensor en de verplaatsing van de spiegel in de (z-)hoogte. Er is geen onafhankelijk referentiesignaal beschikbaar dus het systeem moet worden beschouwd als een teruggekoppeld systeem. De bandbreedte zoals bepaald uit het vermogensspectrum van de PSD signalen is 150 Hz. Voor de analyse van het systeem wordt het 'Internal Model Control' principe verondersteld. De bemonsteringsfrequentie van het regelsysteem is 2 kHz. De prestaties zijn bepaald voor de twee oriëntaties van de PSD-sensor (zie hierboven). Voor beide situaties wordt een reductie van ongeveer 12 dB bereikt.

## Besluit

Het ontwerpproces van de scanspiegel is uitgevoerd met een ontwerpfilosofie waarbij kennis van het fijnmechanisch ontwerpen gecombineerd is met de kennis van dynamica en regeltechniek. Hierdoor was het mogelijk om in een vroeg stadium het ontwerp te optimaliseren en een regelstrategie te ontwikkelen. Dit heeft het ontwerptraject versneld en geleid tot een veelbelovend scanspiegelontwerp.

Voor het mechanische ontwerp van de scanspiegel is gewerkt volgens de ontwerpmethodiek van de groep Constructies & Mechanismen onder leiding van dr.ir. P.C.J.N. Rosielle van de Technische Universiteit Eindhoven. Hierin staan de ontwerpaspecten als het statisch bepaald, licht en stijf construeren, centraal. De ontworpen elastische, parallel uitgevoerde rotatiegeleiding met een groot gezichtsveld en de spanningsloos opgehangen spiegel geeft een vernieuwend scanspiegelontwerp.

Eind 2003 zal er bij TNO TPD een prototype van dit ontwerp gerealiseerd zijn. Het verloop van de verdere ontwikkelingen en de behaalde resultaten zullen in de nabije toekomst worden gepubliceerd.

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met Joep Pijnenburg: Pijnenburg@tpd.tno.nl

## Literatuur:

J.A.C. Heijmans , Het ontwerp van een 2-assige scanspiegel met een elastische rotatiegeleiding, TNO rapport DOI-RAP-030017, '03
P.C.J.N. Rosielle, Constructieprincipes 1, dictaat 4007, Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde, '98
M.P. Koster, Constructieprincipes, Twente University press, ISBN: 9036514568, '00
M.K. Termeer, 'Modelling of dynamic behaviour and deformations in high precision instruments',
proceedings of the 3rd International Conference of EUSPEN 2002, Vol. 1, 21-24.

# NVPT nieuws

### Informatie precisietechnologie

Regelmatig ontvangen wij informatie via het Sensorplatform, Ministerie van Economische Zaken, etc. over:

- symposia
- subsidies
- scholing en opleidingen

Al deze informatie heeft sec te maken met precisietechnologie. De NVPT houdt u hierover graag op de hoogte maar zal dit alleen via de e-mail doen. Als uw e-mail adres nog niet bekend is bij het secretariaat, e-mail uw gegevens naar office@nvpt.nl zodat we interessante informatie door kunnen geven.

### Contributieregeling 2004

Tijdens de ledenvergadering 2003 is de contributiewijziging voor 2004 goedgekeurd. Als u het aantal medewerkers van uw bedrijf nog niet heeft doorgegeven aan het secretariaat, e-mail dit s.v.p. per omgaande naar office@nvpt.nl.
In januari worden de contributienota's voor 2004 verzonden en het bespaart u en het secretariaat veel werk als u de juiste nota ontvangt. Volledigheidshalve hieronder de contributieregeling 2004 voor bedrijven.

De contributie voor bedrijven / instellingen bedraagt:
Categorie A (O) €400,00
Bedrijven en instituten tot 25 medewerkers (1 contactpersoon)

Categorie B (O) €800,00
Bedrijven en instituten tot 250 medewerkers (3 contactpersonen)

Categorie C (O) €1.300,00
Bedrijven en instituten met meer dan 250 medewerkers (5 contactpersonen)

Categorie O
Instellingen van MBO/HBO/WO krijgen 50% korting op de contributie voor de categorieën A t/m C

De bedragen zijn exclusief BTW.

### Nieuwe rubriek 'Kennis van elkanders kunnen'

In deze uitgave vindt u de nieuwe rubriek 'Kennis van elkanders kunnen'. Via deze rubriek kunnen bedrijfsleden zich bij elkaar (her)introduceren. Uitgangspunt is dat het artikel mogelijk interessante informatie bevat voor de lezers van Mikroniek. Daarnaast ontvangen wij graag relevante informatie over beurzen, noviteiten, etc. zodat u via ons verenigingsblad nog beter geïnformeerd raakt. De uiteindelijke beslissing kopij wel / niet te plaatsen, ligt bij de redactieraad.

PERSBERICHT

# Gebruikte machine veiling in Rosmalen

Nederland is weer een nieuw concept rijker: namelijk een veiling van gebruikte machines, ingebracht door meerdere bedrijven, die door elke geïnteresseerde gratis te bezoeken is. Deze unieke veiling wordt op 25 maart tijdens de Gebruikte Machine Vakbeurs georganiseerd in het Autotron in Rosmalen. De Gebruikte Machine Vakbeurs vindt plaats op 23, 24 en 25 maart in Rosmalen. Op de beursvloer kunnen de exposanten hun gebruikte machines tonen, zodat de bezoekers op hun gemak de machines kunnen bekijken. Ook kunnen zij dan met hun vragen over de machines terecht bij de verkopende partij, voorafgaand aan de veiling.

Een bijkomend voordeel voor de bezoekers is ook dat er verschillende bedrijven op de beursvloer staan die gespecialiseerd zijn in onderhoud en opleiding. Zo kunnen

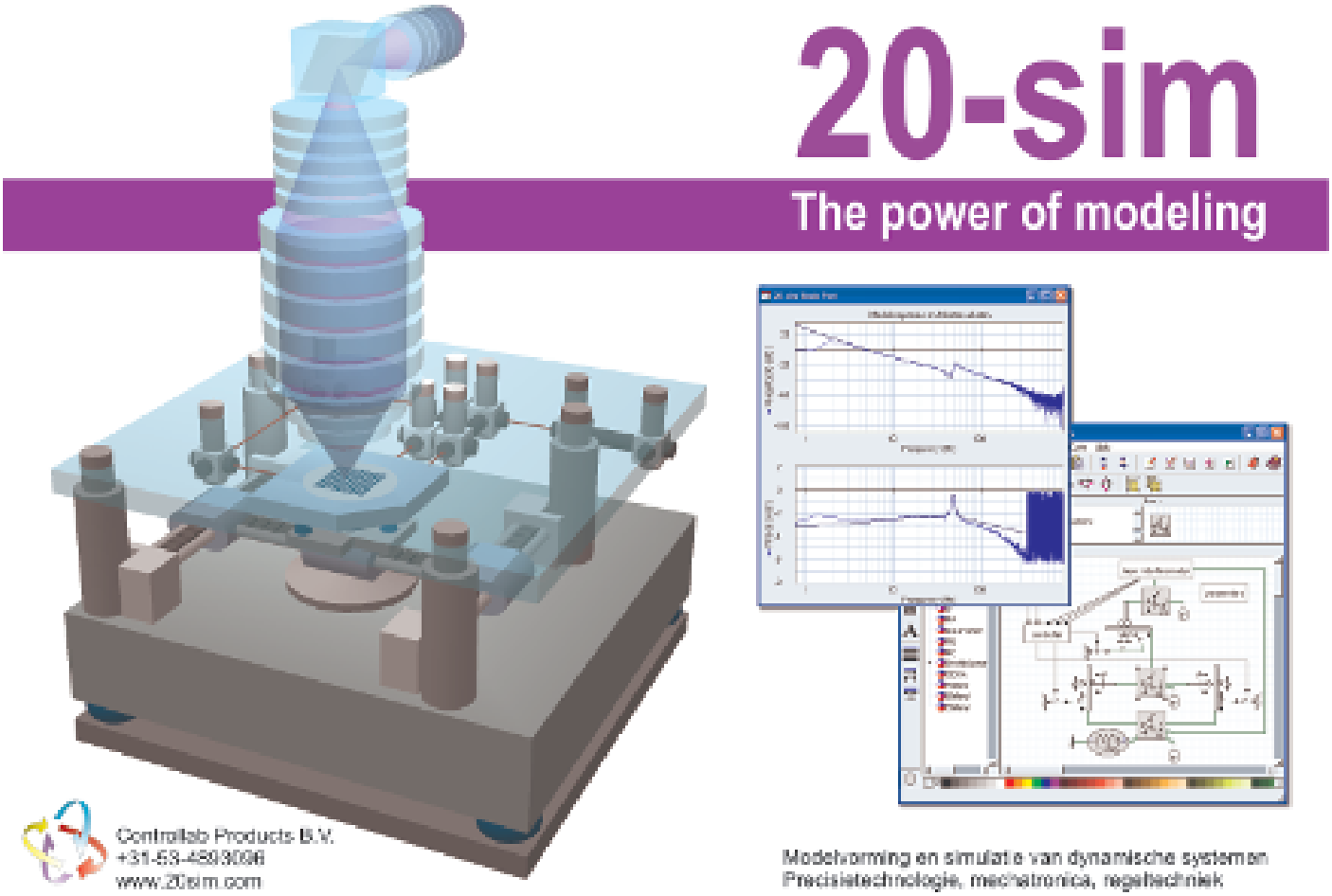
zij direct bij hun aankoop de expertise op de vakbeurs vinden voor de begeleiding van het personeel of de afstelling van de machine. Eventueel kan men ook direct het vervoer van de aangekochte machine naar het eigen bedrijf regelen. Omdat de Gebruikte Machine Vakbeurs volgens de all-in service georganiseerd wordt en een hapje en een drankje gratis geserveerd worden op de beursvloer voor de bezoeker, kan dit alles in een gemoedelijke sfeer plaatsvinden.

**Veilingvoorwaarden**

Op deze unieke veiling heeft iedere exposant de mogelijkheid om machines in te brengen om te laten veilen, omdat de organisatie zeer gunstige veilingvoorwaarden hanteert. Ook bedrijven die niet gespecialiseerd zijn in de machinehandel, maar wel hun gebruikte machines willen verkopen, hebben dus de mogelijkheid om dit tijdens de Gebruikte Machine Veiling te doen. Ook hoeven geïnteresseerde bezoekers geen inschrijfgeld voor deze veiling te betalen, dus meebieden kan altijd. Zodoende wordt het voor de bezoekers ook zeer interessant om de veiling te bezoeken, omdat men daar net tegen die gebruikte machine aan kan lopen die men zoekt. Ook in de veilingzaal is de all-in service van toepassing en dat wil dus zeggen dat men ook in deze zaal tijdens de veiling onbeperkt gebruik kan maken van het grote assortiment hapjes en drankjes. Deze gang van zaken zal dan ook zeker een grote bijdrage leveren aan een verkoopbevorderende sfeer in de veilingzaal.

Iedereen kan zich gratis aanmelden als bezoeker van de Gebruikte Machine Veiling en Gebruikte Machine Vakbeurs op de website www.gebruiktemachinevakbeurs.nl. Ook bedrijven die een gebruikte machine willen verkopen en professionele handelaren die interesse hebben als exposant kunnen zich via deze website aanmelden of contact opnemen met Michan Katerbarg, via telefoonnummer: 06-51 96 31 93.

advertentie



→ hoekmeetsystemen
→ lengtemeetsystemen
→ contourbesturingen
→ digitale uitlezingen
→ meettasters
→ impulsgevers

*Waaraan meet men de toekomst van de halfgeleiderfabricage af?*

Elke nieuwe generatie wordt aan nieuwe maatstaven afgemeten. Dat geldt ook voor de halfgeleiderfabricage. De wafers moeten steeds groter worden, terwijl de structuren steeds kleiner worden. Om daarbij succesvol te zijn, heeft u meettechniek nodig die aan de hoogste eisen op het gebied van nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid voldoet. Ideaal daarvoor zijn de meetsystemen van HEIDENHAIN. Al 114 jaar houden wij ons bezig met lengte- en hoekmeetsystemen. En wij investeren steeds in de ontwikkeling van de technologieën van morgen. Met de meettechniek van HEIDENHAIN kunt ook aan de maatstaven van de toekomst voldoen.

HEIDENHAIN NEDERLAND B.V., Postbus 92, 6710 BB EDE, Tel. (0318) 58 1800
Telefax (0318) 58 18 70, verkoop@heidenhain.nl, www.heidenhain.nl

**HEIDENHAIN**