

# Harmonic Drive krimpt

***Er is een toenemende behoefte te constateren aan compacte, krachtige en vooral spelingsvrije servo-aandrijvingen in miniatuurommetingen. Dat geldt vooral voor de fabricage van IC-apparatuur, installaties voor het sputteren en opdammen van lagen, coördinatenmeetmachines, licht- en elektronenmicroscopen en planetaria. Daarom brengt de firma Harmonic Drive AG in Limburg an der Lahn al enkele jaren miniatuuuraandrijvingen in miniformaat en nu zelfs in microformaat op de markt. Daarmee bewijzend dat de microtechniek zich heeft ontwikkeld tot een praktisch bruikbare technologie.***

- ***J. Stolze, M. Mendel en R. Slatter.***  
***Vertaling en bewerking: Frans Zuurveen*** •

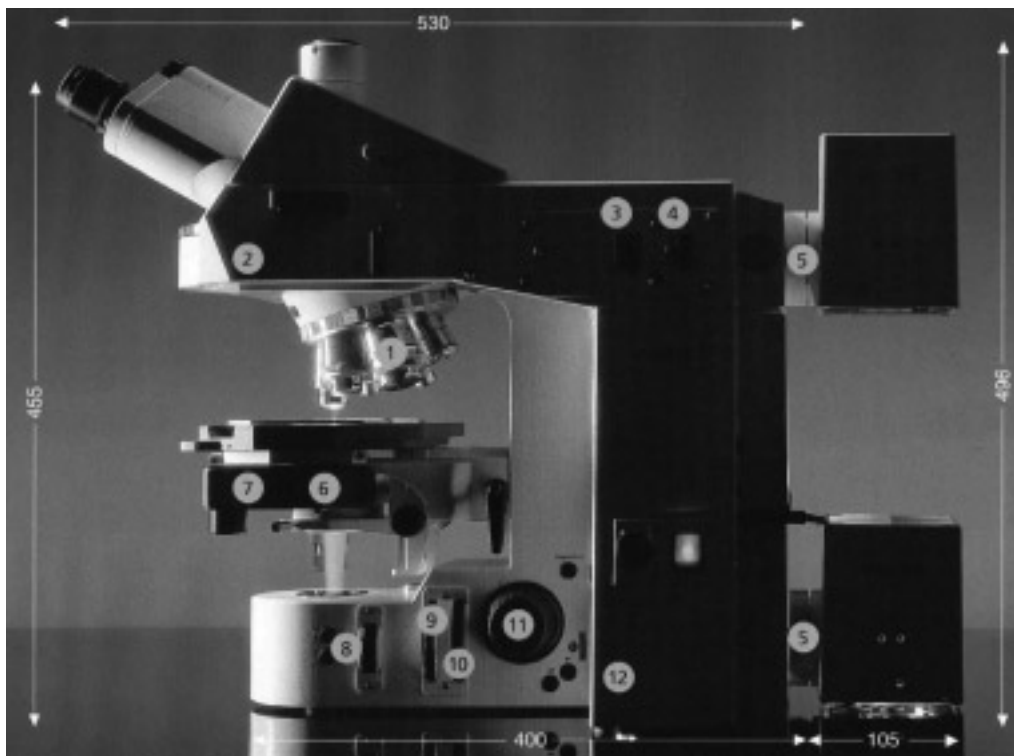
**S**pelingsvrije aandrijvingen van het type Harmonic Drive® bieden bij een nauwkeurigheid van enkele boogseconden een hoge reproduceerbaarheid. Daardoor ontstaat de mogelijkheid zonder problemen met hoge resolutie direct te positioneren. Problemen zijn wel te verwachten als er wordt gekozen voor de bekende miniatuur-planetwiel aandrijvingen, omdat daarbij speling niet te vermijden is. Daar komt nog bij dat Harmonic Drives meestal ook nog ruimte en gewicht besparen.

We zullen hier niet ingaan op de werking van de Harmonic Drive®, want die mag bekend worden verondersteld. Dat

soort reducties wordt immers al jaren toegepast in gereedschapmachines, robots, drukpersen, lucht- en ruimtevaart en medische apparaten. Bij deze toepassingen gaat het meestal om reducties voor grote vermogens.

Al enige tijd biedt de firma Harmonic Drive reductiekasten aan voor vermogens kleiner dan 100 W, de zgn. Mini Harmonic Drives. De reducties type HDUC-5, -8, -11 en -14 hebben buitendiameters van slechts 20 tot 50 mm, zie afbeelding 1a en b. Het kleinste type HDUC-5 met een buitendiameter van 20 mm levert een koppel van maximaal 0,45 N.m. De typen HDUC-8, -11 en -14 met diameters van





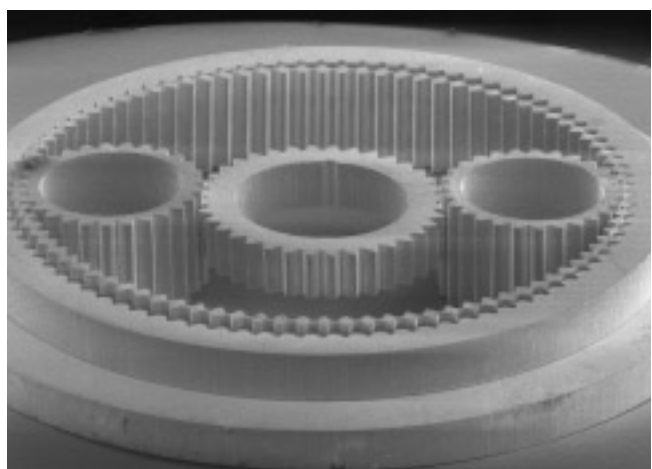
Afbeelding 3. Een microscoop Carl Zeiss Axioplan met Harmonic Drive voor de focusering

### Nog kleiner dan Mini

Uit de toepassingsgebieden microrobotica, fotonica, IC-fabricage en medische precisietechniek komt de vraag naar nog kleinere aandrijfsystemen. Maar als de afmetingen zonder meer worden verminderd, blijven de krachtoverbrenging en de precisie vaak de zwakke punten. Het gaat immers bij de kleinste aandrijfsystemen niet alleen om beweging maar veel meer om het uiterst nauwkeurig uitrichten of justeren van miniaturcomponenten als lenzen, spiegels, grippers enzovoort. Dus spelen in deze innovatieve toepassingsgebieden – behalve minimale afmetingen en gewicht - vooral spelingvrijheid en bewegingsnauwkeurigheid een belangrijke rol. Daar komen dan ook nog hoge reproduceerbaarheid, exacte overbrengingsverhouding en hoge betrouwbaarheid bij. Deze allerkleinste aandrijfsystemen bieden het extra voordeel dat de geringe massa draagzaamheid van de bewegende delen zorgt voor een uitstekend dynamisch gedrag bij een laag energieverbruik.

Micromotion GmbH in Mainz heeft als zustermaatschappij van Harmonic Drive AG de allerkleinste spelingvrije positioneeraandrijving ter wereld ontwikkeld: de Micro Harmonic Drive®. Bij de eerste toepassingen gaat het om het snel en nauwkeurig positioneren van glasvezels en spiegels in hoogwaardige optische schakelsystemen. Daarvoor

is het nieuwe aandrijfsysteem, zie afbeelding 4, met een maximaal koppel van 30 mN.m bij een buitendiameter van slechts 10 mm bijzonder geschikt. Zo'n aandrijving is ook toepasbaar in microscopen voor het apart verstellen van lenzen. Bij de vroegere - grotere - aandrijfsystemen was het noodzakelijk de lenzen mechanisch te koppelen.



Afbeelding 4. SEM-opname van een Harmonic Drive met een buitendiameter van 10 mm

Het grote probleem bij het monteren van moderne elektronica is dat de afzonderlijke componenten nauwelijks nog met het blote oog zijn te onderscheiden. Maar die miniatuurdelen moeten wel worden getest, geplaatst in het montagegereedschap en daarna exact gepositioneerd. De daarvoor nog steeds toegepaste machines zijn echter ontworpen in een tijd dat een printplaat de afmetingen van A4-formaat en een chip die van een lucifersdoosje had. Maar de nieuwste generatie montagemachines is afgestemd op de afmetingen van de huidige miniatuurcomponenten. Die machines zijn dus ook fysiek veel kleiner. Dat alles betekent dat ook de aandrijfsystemen in die machines geminiaturiseerd moeten zijn en uiterst nauwkeurig dienen te functioneren.

Een ander toepassingsgebied voor Micro Harmonic Drives is de medische techniek met zijn hoge eisen aan de nauwkeurigheid van bewegingen. Voorbeelden daarvan zijn endoscoop-camera's en microchirurgische instrumenten.

Ook communicatietechniek vormt een breed toepassingsgebied voor Micro Harmonic Drives. Vandaag de dag hebben communicatiesatellieten nog de afmetingen van een Smart-auto. Maar die satellieten zullen in de toekomst niet veel groter zijn dan een voetbal. Dus zullen voor - bijvoorbeeld - het met micron-precisie uitrichten van antennes geoptimaliseerde en betrouwbare miniatuur-aandrijfsystemen een keiharde noodzaak zijn.

### De Micro Harmonic Drive®

Het zal duidelijk zijn dat het maken van een Micro Harmonic Drive met een buitendiameter van slechts 8 mm bij een axiale lengte van 1 mm een precisietechnologische uitdaging betekent. Met die montageset kunnen reducties van 160:1 tot 1000:1 worden bereikt. Om de integratie te vergemakkelijken levert Micromotion GmbH de reductie ook als miniatuur-reductiekast die is gekoppeld aan een micromotor, zie afbeelding 5. Daarvoor zijn alle gangbare micromotoren van Arsape, Escap, Faulhaber, Maxon, Mymotor of RMB bruikbaar. De belangrijkste gegevens van de nieuwe reductiekasten staan in onderstaande tabel:

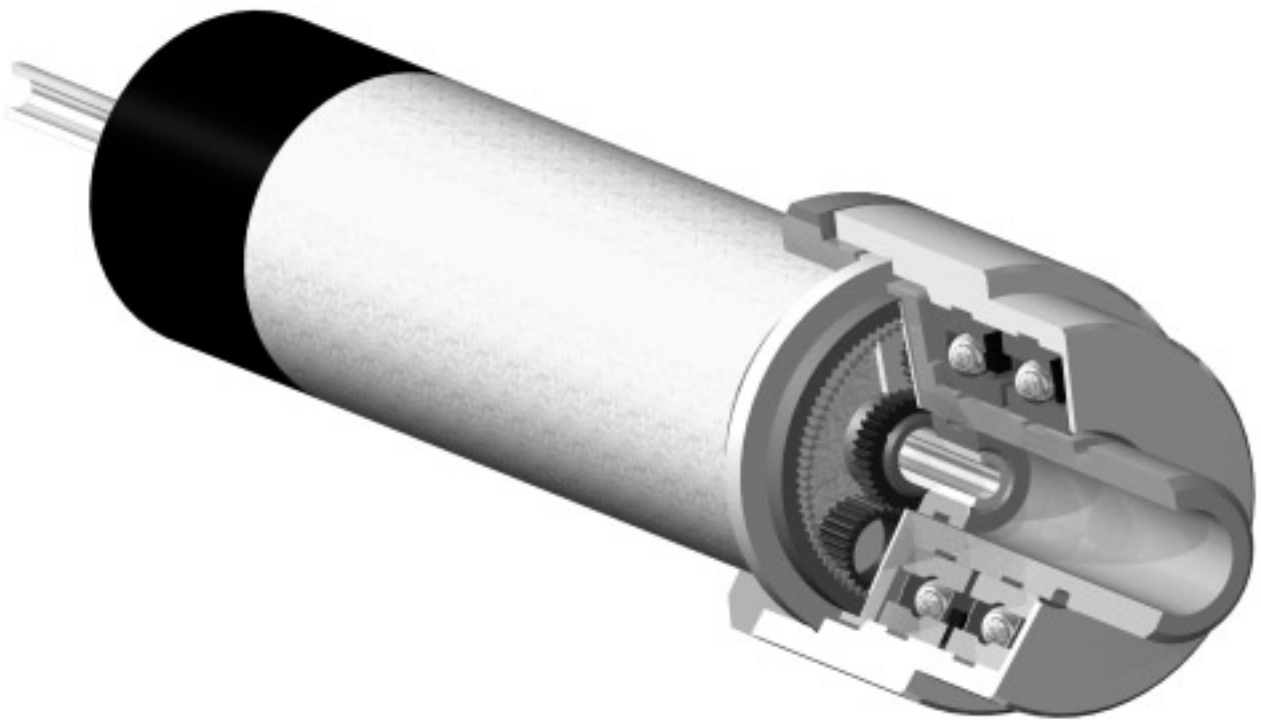
### Allerkleinst

Onlangs is Micromotion GmbH erin geslaagd een variant te realiseren met een 25% kleinere buitendiameter en een nog grotere reductie. Deze beschikt over een uitgaande holle as (afbeelding 5) en is geïntegreerd in een aandrijving die samen met Maxon Motor AG is ontwikkeld. De boring met een diameter van 0,65 mm kan dienen voor het doorlaten van een laserbundel, optische vezels of een luchtstroom. De microaandrijving werkt samen met een speciale uitvoering van een Maxon-motor type EC6 met elektronische commutator en holle as. De axiale lengte van de reductiekast bedraagt 12,3 mm bij een buitendiameter van 8 mm. Samen met de motor en een magnetische hoekencoder met 100 pulsen per omwenteling komt de lengte op toch niet meer dan 31,3 mm. Bij deze afmetingen is de vertanding van de Harmonic Drive alleen nog onder een microscoop zichtbaar!

Voor het maken van deze precisie-vertanding is de LIGA-technologie toegepast: Lithografie en Galvanotechniek. Micromotion GmbH wijzigde deze technologie zodanig dat deze geschikt is voor het maken van metalen vertandingen in grote series. De oorspronkelijke LIGA-technologie is gebaseerd op lithografische processen uit de IC-fabricage. Daarbij wordt de te reproduceren structuur aangebracht in een masker dat UV-licht plaatselijk kan tegenhouden. Door middel van schaduwprojectie wordt die structuur met hoge precisie overgebracht op een lichtgevoelige laklaag, de fotoresist.

Het vervaardigen van structuren met een hoogte van enkele millimeters met een nauwkeurigheid die beter is dan 1 µm, is alleen mogelijk met kortgolvlige en uiterst parallelle synchrotronstraling van hoge energie. De op deze manier gemaakte driedimensionale patronen zijn heel kostbaar. Er is daarom gezocht naar een methode om deze precisiestructuren op een goedkope manier te reproduceren. Gebaseerd op deze gedachtegang is door Micromotion GmbH een LIGA-procédé met tweede galvanische stap ontwikkeld, zie afbeelding 6. Daarbij wordt er op een eerste afdruk in kunst-

Type		MHD 8		MHD 10		
Reductie		160	500	160	500	1000
Maximum koppel	[mN.m]	6	16	10	26	40
Nominaal koppel	[mN.m]	3	8	5	13	20
Verlieskoppel	[mN.m]	30	35	50	45	40
Reproduceerbaarheid	[boogsec]	±10	±10	±10	±10	±10
Buitendiameter	[mm]	8	8	10	10	10



Afbeelding 5. De Micro Harmonic Drive ingebouwd in een positioneeraandrijving met holle as

stof een tweede metaallaag gevormd, die exact de gewenste microstructuur bevat. Op deze manier is Micromotion erin geslaagd op een economische manier met hoge precisie metalen microvertandingen in massa te vervaardigen.

Micromotion maakt met dit procédé vertandingen met een moduul van niet meer dan  $34 \mu\text{m}$ , wat overeenkomt met minder dan de helft van de breedte van een mensenhaar. Alle vertandingen van de Micro Harmonic Drive® worden gemaakt van nikkelijzer. Dat heeft een rekgrens van  $1500 \text{ N/mm}^2$ , een elasticiteitsmodulus van  $165000 \text{ N/mm}^2$  en een hoge vermoeiingssterkte en is daarom bij uitstek geschikt voor hoogbelaste microvertanding.

Het volgende voorbeeld geeft een idee van de precisie die met een Micro Harmonic Drive® met een reproduceerbaarheid van  $\pm 10$  boogseconde te halen is. Als een laserstraal via een spiegel met zo'n micro-aandrijving wordt afgebogen over de lengte van een voetbalveld, is het mogelijk een euro-cent die in het doel op zijn kant staat, te raken.

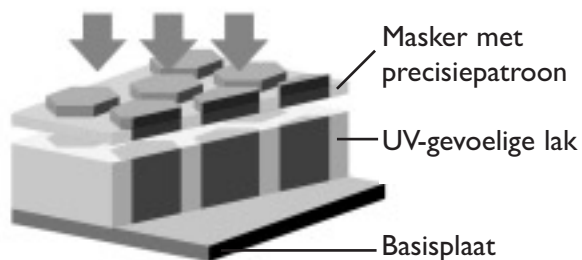
### Toepassing in de IC-fabricage

Het IC-fabricageproces is te onderscheiden in voor- en nabewerking. Bij de voorbereiding ondergaat een siliciumplak – de wafer – diverse fotolithographische en fysisch-chemische processtappen, die uiteindelijk een groot aantal geïntegreerde schakelingen opleveren. Bij de nabewerking worden de plakken gezaagd en zo verdeeld in de afzonderlijke chips. Die worden ten slotte voorzien van contacten en verpakt in hun behuizing. Dat laatste wordt “packaging” genoemd.

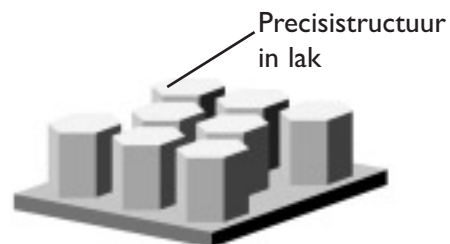
Bij de nabewerking zorgen IC-montagemachines (“die attach machines”) van het Zwitserse Alphasem AG voor het maken van de elektrische verbindingen en de montage in de beschermende IC-behuizing. Daarbij is het nodig de chips, die met hun afmetingen van dikwijls niet meer dan  $0,25 \times 0,25 \text{ mm}$  niet groter zijn dan een zandkorrel, met hoge precisie uit te richten en te positioneren. De nieuwste montagemachine is de Easyline 8032, zie afbeelding 7. Deze machine beschikt over een speciaal gereedschap, de

## Maken van matrijs met LIGA-techniek

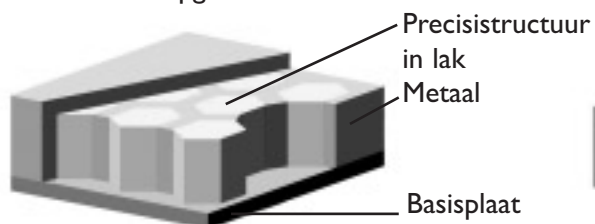
1. Belichting



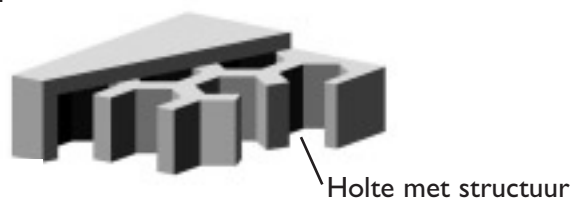
2. Ontwikkeling



3. Galvanisch opgroeien

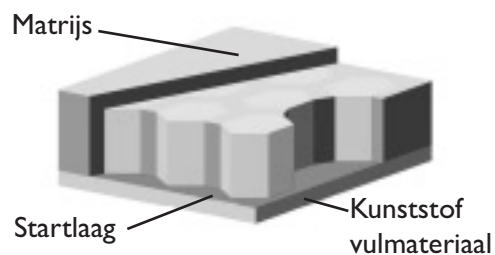


4. Matrijs

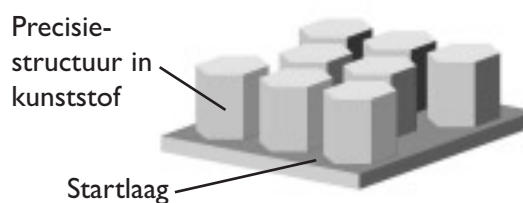


## Massaproductie met 2e galvanische stap

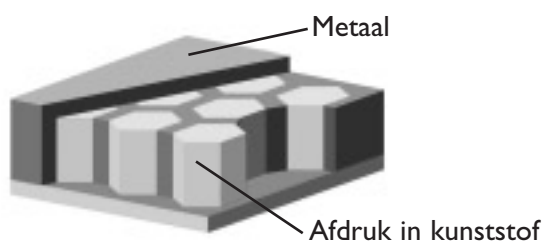
5. Vullen van matrijs



6. Afdruk



7. Galvanisch opgroeien



8. Precisestructuur in metaal



Afbeelding 6. Het LIGA-procédé met tweede galvanische processtap. Op een afdruk in kunststof wordt een tweede metaallaag galvanisch opgegroeid, die de microstructuren van het oorspronkelijke masker bevat. Daardoor is het mogelijk de structuren in het oorspronkelijke masker in massa te vermenigvuldigen



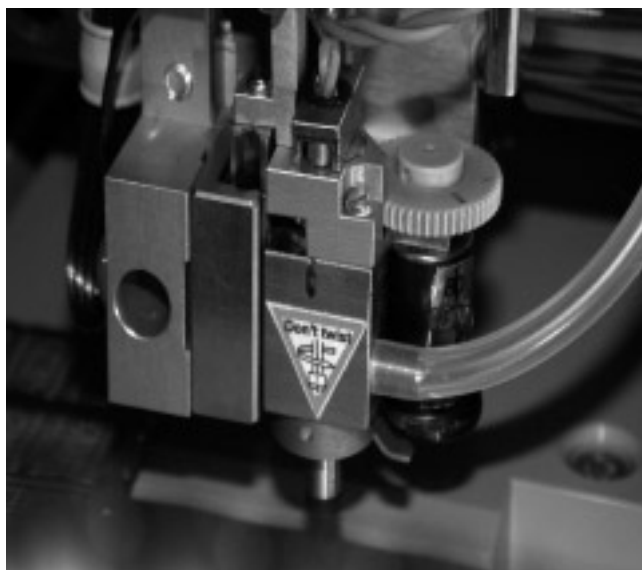
zogenaamde Rotary Bond Tool, zie afbeelding 8, waarmee de chip met hoge nauwkeurigheid in de juiste positie wordt gedraaid, waarna de verbindingen door middel van thermo-compressie tot stand komen.



Afbeelding 7. De chip-montagemachine Easyline 8032 van Alphasem AG

Het belangrijkste deel van deze unit is een miniatuur-aandrijfkast met een speciaal voor Alphasem ontwikkelde Micro Harmonic Drive“. De krachtbron is een micro-stapenmotor die via tandwielen het vermogen overdraagt aan de Micro Harmonic Drive®. De aandrijving is uitgevoerd met een holle uitgaande as, waardoor lucht kan worden aanzogen voor het bedienen van een vacuümgrijper die de chips oppakt. Via de holle as wordt tevens het succesvol oppakken van een chip gecontroleerd met behulp van een optische sensor. De uitgaande as is gelagerd in voorgespannen precisiekogellagers.

Deze unit voor het met hoge snelheid positioneren met sub-micron-nauwkeurigheid wordt compleet bij Micromotion GmbH gemonteerd en getest. Gedurende de ontwikkeling van dit Rotary Bond Tool zijn uitgebreide duurproeven uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de unit te garanderen. Na meer dan  $18 \times 10^6$  cycli werd geen merkbare achteruitgang in de positioneer-nauwkeurigheid geconstateerd.



Afbeelding 8. De Rotary Bond Tool met een Micro Harmonic Drive“ voor de uiterst nauwkeurige hoekpositionering van chips

Dit soort toepassingen bewijst dat Micromotion GmbH er in minder dan twee jaar in is geslaagd de technologie van de Micro Harmonic Drive® vanuit het laboratoriumstadium te ontwikkelen tot de harde praktijk van seriefabricage.

### Informatie

*Voor de Micro Harmonic Drive:*

Harmonic Drive AG  
Postfach 1652  
65536 Limburg an der Lahn  
Duitsland  
Tel. 0049-6431-50 08-0  
Fax 0049-6431-50 08-18  
[www.harmonicdrive.de](http://www.harmonicdrive.de)

*Voor de Mini Harmonic Drives type HDUC:*

SKF Multitec Benelux bv  
Kelvinbaan 16  
3439 MT Nieuwegein  
Tel. 030-602 9029  
[www.linearmotion.skf.com](http://www.linearmotion.skf.com)

### Literatuur

Jörg Stolze en Matthias Mendel, Von Mini zu Mikro, spiel-freie Präzisionsgetriebe und Servoantriebe, F&M Mechatronik 110 (2002), 11-12, blz. 54-56.