

Producten en toepassingsgebieden

LIGA - techniek

M.C. Dierselhuis

De op de röntgenlithografie, Galvanische vormgeving en Afscheiding (Duits: Abformung) gebaseerde LIGA-techniek maakt de vervaardiging van driedimensionale microstructuren industrieel mogelijk. LIGA-producten zijn inmiddels commercieel verkrijgbaar. Op grond van de hoge mate van ontwerprijheid en de in verhouding tot het gebruikelijke silicium brede materiaalspectrum, opent zich een breed scala van toepassingsmogelijkheden. Dit geldt voor medische, telecommunicatie en fijnmechanische en consumentenproducten en de automobielbranche.

LIGA-techniek

Naast de siliciummicromechanica [1] is de laatste jaren met name de LIGA-techniek voor de industriële en commerciële vervaardiging van microstructuren op de voorgrond getreden. Zij realiseert driedimensionale microstructuren met een relatief grote hoogte in metalen, polymeren en keramische materialen. Essentiële processtappen vormen de röntgenlithografie, de galvanische vormgeving en de matrijsafscheiding [2]. Een economische massaproductie is door de aanmaak van produktmatrijzen uit een moedermatrijs mogelijk. Op grond van haar veelzijdigheid biedt de LIGA-techniek

een uitstekende basis voor de realisatie van microsystemen [3]. De omzwaai van macroscopische of hybride systemen naar microsystemen verloopt in de praktijk echter vaak nog in kleine stapjes. Meestal wordt een bestaand produkt alleen al verbeterd doordat men een bestaande component door een beter functionerende microstructuur vervangt. Maar ook de ontwikkeling van een sleutelcomponent, die pas door de toepassing van LIGA mogelijk wordt, vormt voor veel gebruikers de eerste stap op het veelbelovende terrein van de microsysteemtechniek (MST). Typische voorbeelden van dergelijke sleutelcomponenten worden in het hiernavolgende behandeld.

Technologische kader

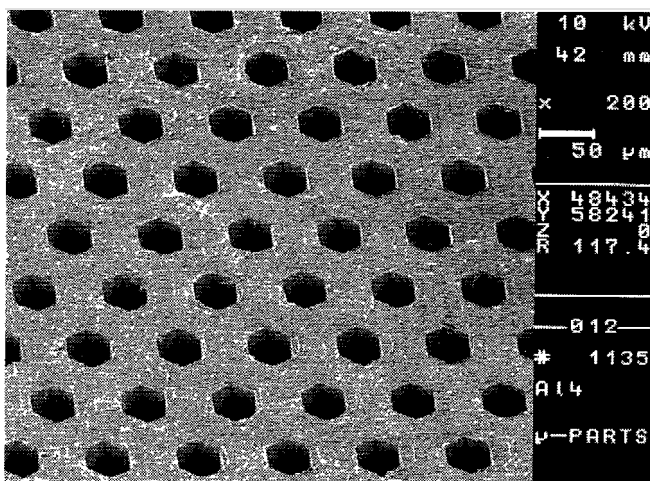
Karakteristiek voor de LIGA-techniek is het vermogen microstructuren te kunnen vervaardigen met een zeer hoge precisie, in een scala van materialen, in een relatief grote dikte, met een grote geometrievrijheid, met in verhouding lage produktkosten. De geometrische specificaties worden door het actuele ontwerp, de te volgen processtappen en het materiaal bepaald. Momenteel kunnen op een nuttig oppervlak van maximaal 20 x 60 mm, structuren met kleinste laterale afmetingen in het micrometergebied, tot een hoogte van

circa 1.000 micrometer worden vervaardigd. De vormgeving is vrijwel geheel vrij en op dit moment wordt de mogelijkheid ook in de derde dimensie vormgevingsvrijheid te realiseren onderzocht [4]. Voor de gebruiksmogelijkheden zijn niet alleen de geometrische mogelijkheden, maar bovenal ook de vrije materiaaltoepassing van eminent belang. De LIGA-techniek biedt nu al het breedste spectrum aan toepasbare materialen. Al naargelang de probleemstelling kunnen metalen, kunststoffen en keramische materialen worden toegepast. De microstructuren kunnen ofwel los ofwel op een voor de toepassing toegesneden substraatmateriaal (metaal, kunststof, silicium, glas, keramiek, etc.) worden vervaardigd.

Als metalen kunnen voor de elektrolytische afscheiding nikkel, koper en goud standaard worden gebruikt. Voor mechanisch hoogbelaste onderdelen, zoals veren, zijn nikkel-kobaltlegeringen ontwikkeld, die een wezenlijk hogere hardheid (400 HV) en daarmee een beperkte mechanische hysteresis ten opzichte van nikkel (280 HV) bezitten. Al naargelang de wenselijkheid kan het nikkel tot een 30% kobaltgehalte worden gelegerd. Bijzondere aandacht verkrijgt momenteel de ontwikkeling van een nikkel-ijzer legering [5], waarbij de magnetische en thermische eigenschappen, afhankelijk de samenstelling, beheerst kunnen worden verkregen.

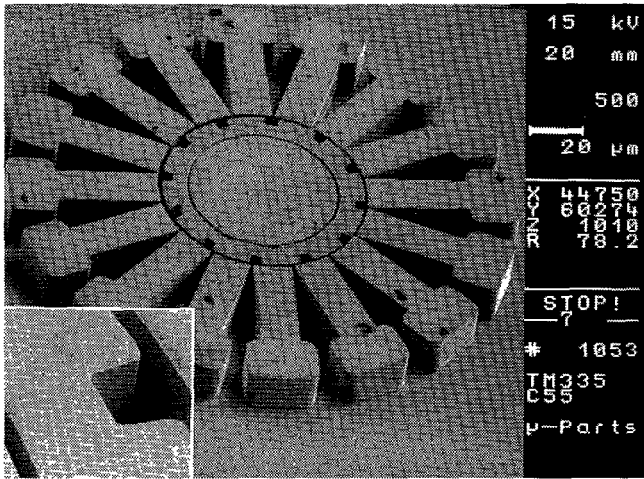
Als kunststoffen komen in de eerste plaats goed vloeiende thermoplasten in aanmerking. Deze kunnen in een spuitgietproces bij grotere produktieaantallen economisch worden verwerkt. Gebruikelijke materialen zijn PMMA (met uitstekende optische eigenschappen) en POM (polyacetal, met goede mechanische eigenschappen). Beide zijn ook voor medische toepassingen geschikt.

Bijzondere aandacht verdient de microvormgeving van keramische materialen met behulp van de LIGA-techniek. Elektroden voor brandstofcellen, spuitmonden, ventielzittingen en filters zijn slechts een paar voorbeelden waar-

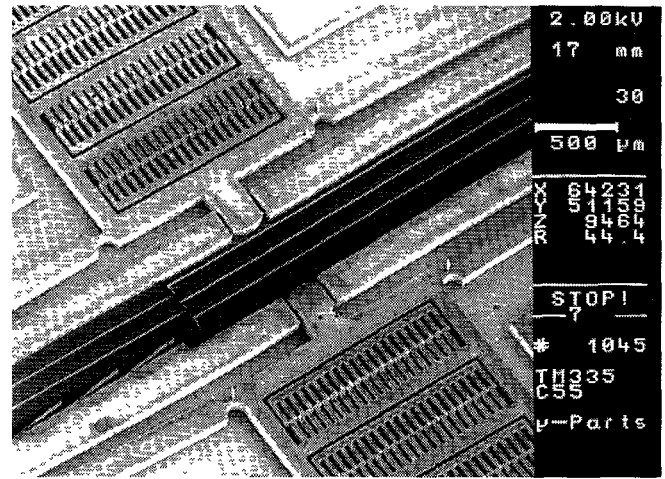


Figuur 1 Keramische structuur vervaardigd met LIGA

Producten en toepassingsgebieden



Figuur 2 REM-opname van een elektrostatische stappenmotor, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovormgeving, rotordiameter 480 µm, materiaal nikkel, hoogte 120 µm



Figuur 3 REM-opname van een 3 x 2 glasvezelschakelaar met capacatieve lineaire aandrijving, veerscharniergeleiding en geplaatste 125 µm glasvezels, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovorming, materiaal NiCo, structuurhoogte 120 µm

bij hoge chemische resistentie, thermische stabiliteit, slijtageweerstand en een hard oppervlak van belang zijn. Maar ook andere te sinteren materialen, zoals piezokeramieken, die een hoge energiedichtheid bezitten, zullen in de nabije toekomst het toepassingsgebied van de LIGA-techniek bij elektromechanische omvormers verbreden. De eerste praktijktesten van microvormgeving hebben met zirkoonoxyde en aluminiumoxyde plaatsgevonden. Uit figuur 1 blijkt dat deze materialen nu al over een relatief groot oppervlak, zonder gebreken, porievrij en met een hoge oppervlaktekwaliteit vormgegeven kunnen worden.

Toepassingsgebieden

Micro-actuatoren

De ontwikkeling van microactuatoren komt uit het ontwikkelstadium. Voor de meeste toepassingen zijn de haalbare vermogens echter nog te gering. Voor de toekomst wordt een veelvoud van toepassingsgebieden, vooral in de besturings-, telecommunicatie- en medische techniek gezien. Het Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK) heeft basisontwikkeling in de vervaardiging van lineaire aandrijvingen[6], microturbines [7] en micromotoren [8] met behulp van de LIGA-techniek uitgevoerd. Het specifieke van de LIGA-techniek ligt besloten in de mogelijkheid de aandrijfenergie bij een gegeven oppervlakte door een grotere structuurhoogte te

verhogen, zoals bijvoorbeeld bij de in figuur 2 weergegeven elektrostatische stappenmotor.

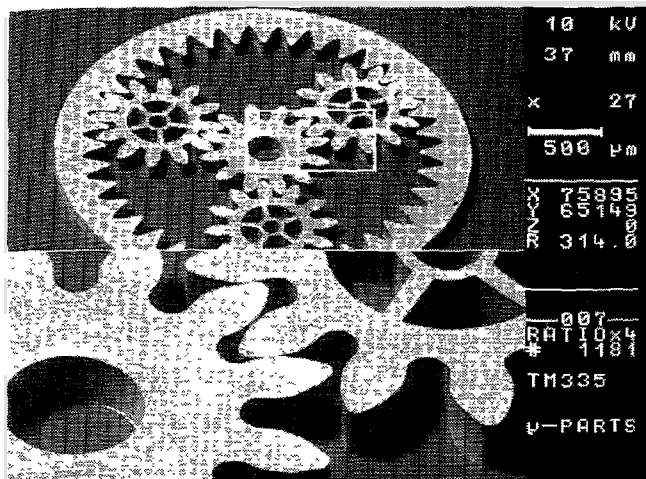
Een integrale aanmaak van beweeglijke en vaste delen is mogelijk door het toepassen van gestructureerde offerlagen – dit zijn lagen die naderhand worden verwijderd [9]. Montage- en correctiewerkzaamheden worden daarvoor tot een minimum gereduceerd. Bij het voorbeeld van een 3 x 2 glasvezelrelais, dat het selectief schakelen van optische kanalen mogelijk maakt, worden de genoemde voordelen direct duidelijk; zie figuur 3. Elektrostatische aandrijvingen in de vorm van kamstructuren bewegen afwisselend steeds 3 glasvezelenden tegenover 2 vaste glasvezels, zodat optische signalen naar keuze in de afzonderlijke kanalen ingekoppeld kunnen worden. De bewegende kamstructuren van de elektrostatische aandrijvingen worden door veerscharnieren wrijvingsarm en nauwkeurig geleid. De grote aspectverhouding – de aspectverhouding is groot als laterale afmetingen in hoogterichting weinig variëren – verleent de veergeleiding een hoge dwarsstijfheid. De vaste glasvezels worden door vrijliggende bladvieren gepositioneerd en vastgehouden. Onlangs is de toepassing van start gegaan van microtandwielen en microtandwielkastjes in de hoog ontwikkelde fijnmechanische techniek voor horloges en minmotoren. Dit is mogelijk omdat de nauwkeurigheid van de LI-

GA-techniek zeer kleine spelingen toestaat. Door de constructievrijheid van de LIGA-techniek kunnen naast evolvente vertandingen ook minder gangbare vertandingen, zoals bijvoorbeeld cycloïden, onronde en hybride vertandingen worden gerealiseerd. Voor de toerentalreductie van hoogtoerige minmotoren – toegepast bijvoorbeeld in audio, video en meetapparatuur als plaatselijke aandrijvingen – is een planeet overbrenging met een rechte evolvente vertanding vervaardigd. Het aantal tanden van het zonnewiel en de planeetwielen bedraagt 12, de binnenvertanding heeft 36 tanden, zodat een reductie van 3 wordt gerealiseerd; zie figuur 4. Met een moduul van 62,5 µm en een tandbreedte van 100 µm kan een draaimoment van 0,1 mNm worden overgebracht.

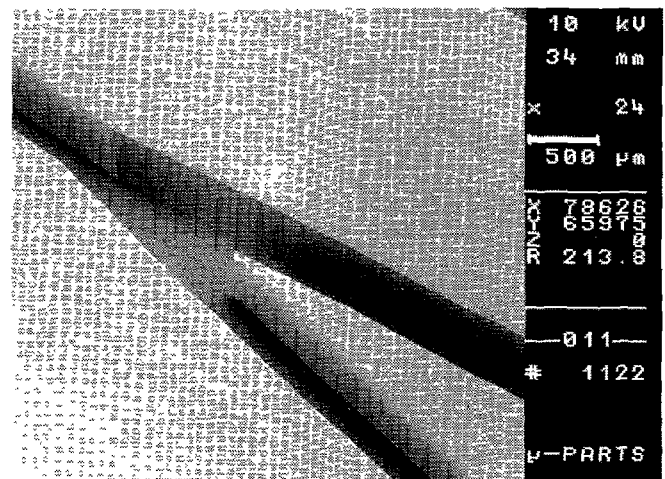
Optiek

1 x 2 Koppeling voor polymeervezelnetwerken

Bij optische netwerken voor datatransmissie over kortere afstanden, zoals bijvoorbeeld voor lokale netwerken, en besturingen van produktiemachines of voertuigen, vormen de polymeervezels een interessant alternatief voor glasvezels. Voor de vervaardiging van de hiervoor noodzakelijke passieve componenten, zoals bijvoorbeeld Y-koppelingen, T-koppelingen en axiale koppelingen, biedt de LIGA-techniek opmerkelijke voordelen met het oog op een zo klein mogelijke demping, een gedefi-



Figuur 4 REM-opname van een planeettandwielstelsel met rechte evolvente verandring, vervaardigd door rontgenlithografie en galvanovorming, materiaal NiCo, moduul 62,5 µm, structuurhoogte 100 µm



Figuur 5 Principeschets van een LIGA-Y-koppeling uit PMMA met gemonteerde polymeervezels voor een LAN (Locaal computernetwerk)

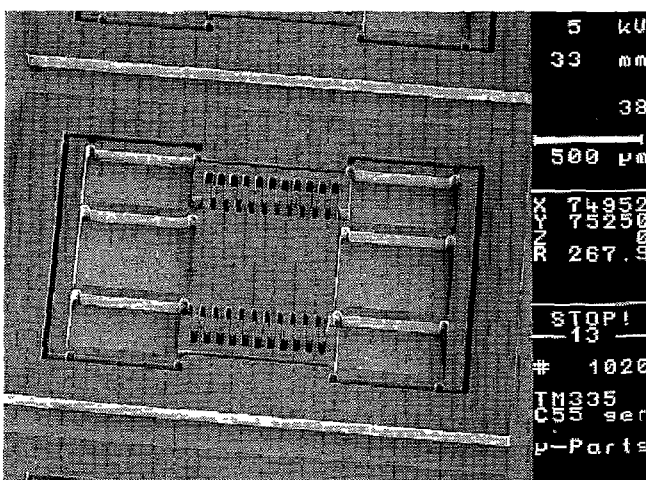
nieerde energieverdeling en de mogelijkheid van massaproductie [10]. Als illustratie van de structureigenschappen zijn 1 x 2Y-koppelingen uit PMMA voor 500 µm dikke polymeervezels in de LIGA-techniek vervaardigd; zie figuur 5. Een vrijwel ideale energieverdeling van 50,7%/49,3% van de beide aftakkingen van de Y-koppeling kon bij de eerste vervaardigde LIGA-monsters al worden aangetoond. Indicatieve metingen van produkten hebben aangetoond, dat dempingsverliezen onder 1 dB (bij de golflengte 850 nm) worden bereikt. De "overspreekdemping" is met 25 dB voldoende hoog.

Sensortechniek

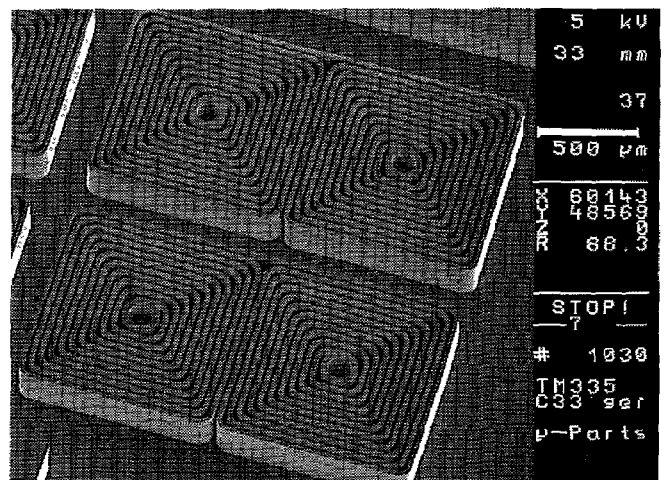
De karakteristieke eigenschappen van de LIGA-techniek kunnen ook bij sensorontwikkeling voordelen bieden [11]. Zo maakt de constructievrijheid geometrisch gecompliceerde structuren mogelijk, zoals deze bijvoorbeeld bij vloeistofsensoren nodig zijn. Bovendien kan hierbij door de hoge aspectverhouding de invloed van randeffecten worden verminderd. Figuur 6 toont een versnellingssensor, waarvan de seismische massa via een parallelveergeleiding aan het huis is bevestigd. De uitlezing van de massaverplaatsing vindt capacitief over differentiale kamcondensatoren plaats. Aspectverhou-

ding en structuurhoogte van de LIGA-techniek maken relatief grote basiscapaciteiten en capaciteitsveranderingen mogelijk. De luchtspleet kan namelijk klein worden gedimensioneerd en het elektrodenoppervlak groot, in verhouding tot het door de condensator ingenomen substraatoppervlak.

Materiaalkeuze en aspectverhouding verlenen microspoelen – in relatie tot hun afmetingen – een hoge energiedichtheid. Het in figuur 7 weergegeven spoelenpaar bestaat uit koper en zal als detectorsysteem voor inductief werkende positie-sensoren in de mechanisatietechniek worden toegepast.



Figuur 6 REM-opname van een LIGA-versnellingssensor met rechte voergeleiding van de seismische massa en kamcondensatoren voor capacitieve uitlezing, materiaal NiCo, structuurhoogte 120 µm



Figuur 7 REM-opname van een spoelenpaar, vervaardigd door rontgenlithografie en galvanovorming op een keramisch substraat, materiaal koper, structuurhoogte 220 µm

Producten en toepassingsgebieden

Verdere toepassingsmogelijkheden voor spoelen komen voor in de hoogfrequentietechniek en bij contactloze, inductieve vermogensoverdracht in roterende systemen.

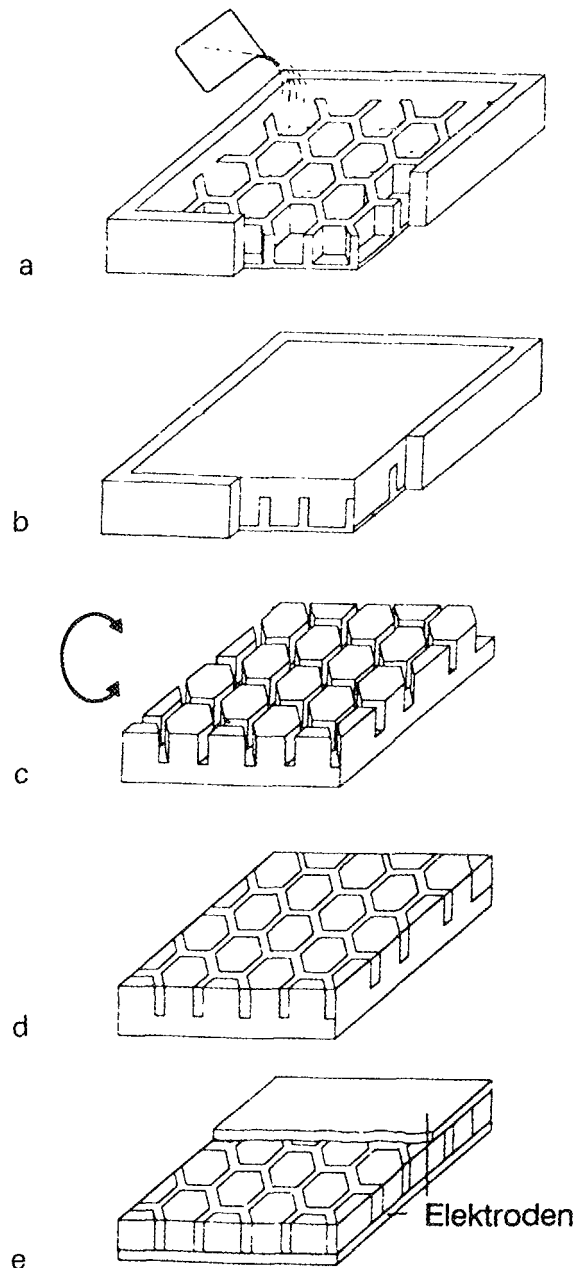
In de medische ultrasone diagnostiek worden voor verhoging van de gevoeligheid en aanpassing van de impedantie van actuatoren bij voorkeur zogenaamde 1-3 piezokeramische polymercomposieten toegepast. Deze bestaan uit een in kunststof ingebed piezokeramische kolom-array. Van beslissende betekenis voor de prestaties van de actuatoren zijn geometrie, hoogte en diameter van de kolommen, alsook de afstand tussen de afzonderlijke kolommen. Bij de vervaardiging van composietkeramieken voor toepassingen in het hoogfrequentiegebied (> 5 MHz) botst men echter door de hiervoor noodzakelijke microvormgeving tegen de grenzen van de bekende vervaardigingstechnieken. Zo wordt bijvoorbeeld de toepassing van "dice-and-fill"-techniek, waarbij het gesinterde piezokeramiek door zagen wordt gevormd, relatief snel oneconomisch door de op grond van de fijnheid toeneemende bewerkingstijd en het hogere uitvalpercentage. Hier biedt de LIGA-techniek door toepassing van de "verloren vorm"-methode een uitweg; zie figuur 8. Voor de vervaardiging van het 1-3 composietkeramiek [12] wordt een met LIGA verkregen microstructureerde kunststofvorm met piezokeramisch slib gevuld, gedroogd en na volledig wegbranden van de kunststofvorm gesinterd. Aansluitend wordt de ontstane gestructureerde keramische vorm weer met kunststof gevuld, tweezijdig op dikte geslepen, gemetalliseerd en gepolariseerd.

Met dit proces zijn 1-3 composieten met een diameter van 16 mm en circa 7.000 kolommen bij een relatief klein uitvalpercentage ($< 5\%$) vervaardigd [12]. De zeskantige kolommen hebben een sleutelwijdte van $95 \mu\text{m}$ en een structuurhoogte van $400 \mu\text{m}$; de afstand tussen de kolommen bedraagt $50 \mu\text{m}$.

Metingen aan de composietkeramische eindproducten [12] gaven een zeer hoge elektromechanische koppelfactor (diktekoppelfactor $K_t = 0,67$ [13]) en een goede trillingeigenschap van

Figuur 8 Principe van de vervaardiging van een 1-3 composietkeramiek uit kunststof met behulp van de LIGA-verloren vormen [12]

De vorm wordt met keramisch slib gevuld (a), gedroogd, de kunststof uitgebrand en gesinterd (b). De gesinterde vorm wordt gevuld met kunststof (c), geslepen en gemetalliseerd (d). Vervolgens worden de elektroden gepolariseerd (e).

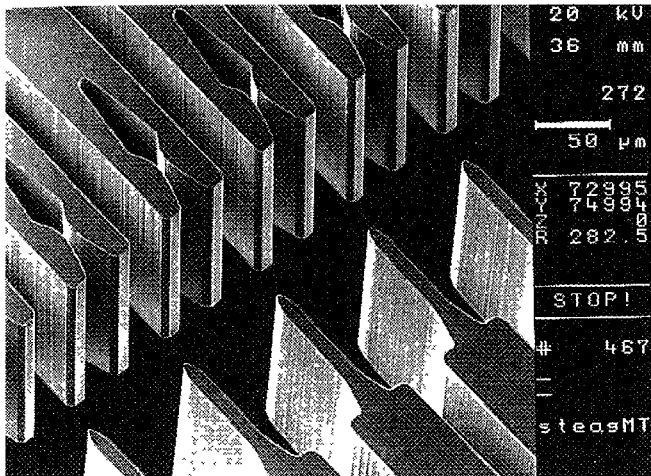


$Q=10$ [14] in het frequentiegebied van 5-10 MHz te zien, waardoor bij een kleine akoestische impedantie zowel een goed impulsantwoord alsook een sterke demping van dwarsgolven is verzekerd.

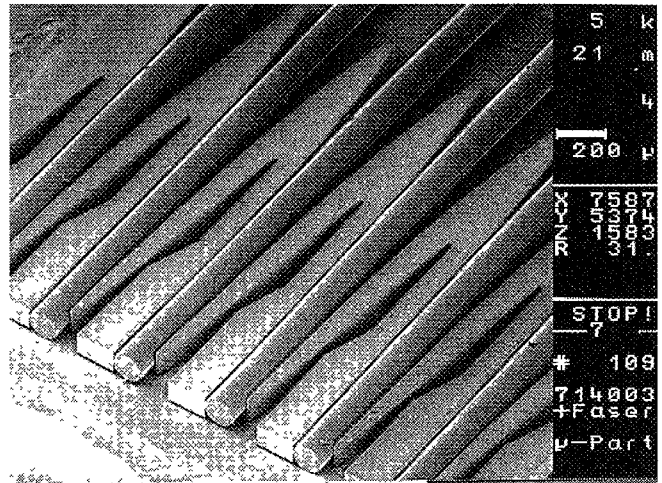
Elektronica en elektrotechniek

Door de zich snel ontwikkelende miniaturisering en hogere integratiedichtheid van micro-elektronische compo-

nenten ontstaan steeds grotere contactproblemen. Hier biedt de LIGA-techniek een reeks van innovatieve oplossingen. Als voorbeeld dient een door röntgenlithografie en galvanovorming vervaardigde microconnector. Bij een steek van slechts $80 \mu\text{m}$ zijn op een zeer klein oppervlak 130 contacten ondergebracht; zie figuur 9. "Macroscopische" insteekgeleidingen met snapverbinding kunnen probleemloos in de



Figuur 9 REM-opname van een LIGA microconnector, steekmaat 80 µm, materiaal nikkel, structuurhoogte 180 µm



Figuur 10 REM-opname van een LIGA-koppel-array, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovorming op een glassubstraat met geplaatste 150 µm glasvezels, materiaal nikkel, structuurhoogte 120 µm

connector worden geïntegreerd.

Ook voor de vervaardiging van geïntegreerde optische chips biedt de LIGA-techniek goede mogelijkheden voor specifieke oplossingen. Voor de koppeling van verscheidene optische vezels aan geïntegreerde optische chips met positioneereisen in het submicrometergebied werd een koppel-element-array ontwikkeld, bestaande uit parallelgeplaatste aanslagen en verelementen [9]. Deze array biedt een reeks van voordelen tegenover andere koppel-elementen, zoals bijvoorbeeld anisotroop in silicium geëtste V-groeven. Zo kan bijvoorbeeld de uitzettingscoëfficiënt van het substraat aan de geïntegreerde optische chip worden aangepast en de hantering van de glasvezels door een veer worden vereenvoudigd.

In het kader van de ontwikkeling van geïntegreerde optische sensoren is een koppel-array op glassubstraat met de LIGA-techniek vervaardigd; zie figuur 10. De verelementen zijn door plaatselijk aangebrachte offerlagen selectief vrijgemaakt. Metingen aan de koppel-elementen voor 24 vezels met een steek van 400 µm hebben aangetoond dat de afwijking van de steek maximaal 0,3 µm bedraagt. Deze nauwkeurigheid is voor vezelchippoppelingen in de monomodetechniek voldoende.

Slotopmerking

De gepresenteerde producten verduidelijken het grote potentieel van de LIGA-techniek voor de vervaardiging van microsysteemen. De eerste microstructuuronderdelen worden commercieel vervaardigd en al in serie gebruikt. Het zich uitbreidende palet van toepasbare materialen en de ontwikkeling van het proces in de richting van doorsnedeveranderingen in de structuurhoogten zullen de toepassingsmogelijkheden van de LIGA-techniek in de toekomst nog verder vergroten.

Literatuur

- [1] K E Petersen Silicon as a Mechanical Material Proc.IEEE Vol 70(5)(1982) pp 420-457
- [2] E W Becker, W Ehrfeld, P Hagmann, A Maner D Munchmeyer Fabrication of Microstructures with High Aspect Ratios and Great Structural Heights by Synchrotron Radiation Lithography, Galvanofarming, and Plastic Moulding (LIGA process) Microelectronic Engineering 4(1986) pp 35-56
- [3] W Ehrfeld The LIGA Process for Microsystems MicroSystem Technologies 90, 1st Int Conf. Micro, Electro, Opto, Mechanic Systems and Components, Berlin, 10-13 Sept 1990, H Reichl ed Springer Verlag 1990, pp 521-528

- [4] W Bacher, M Hamening, P Bley, H Kalb, W Menz, A Michel, J Mohr Molding of Three-Dimensional Microstructures by the LIGA Process Micro Electro Mechanical Systems '92, Travemunde (Germany), February 4-7, 1992
- [5] S Harsch, D Munchmeyer, H Rennecke A new process forelectroforming movable microdevices Int Techn Conf (SUR/FIN'91), American Electroplaters and Surface Finishes Soc., Toronto, June 24-27 1991
- [6] B Kowanz, W Bacher, P Bley, W Ehrfeld Linear Driving Device for Micro Actuators Micromechanics Europe 1990, 2nd Workshop on Micromachining, Micromechanics and Microsystems Berlin, 26-27 November 1990
- [7] U Wallrabe, M Himmelhaus, J Mohr, P Bley, W Menz Rotierende Mikrostrukturen als Grundlage für einen mikromechanischen Stromungssensor Werkstoffe der Mikrotechnik, Karlsruhe, 24/25 Oktober 1991
- [8] U Wallrabe, P Bley, B Kievet, W Menz, J Mohr Theoretical and Experimental Results of an Electrostatic Micro Motor with Large Gear Ratio Fabricated by the LIGA Process Micro Electro Mechanical Systems '92, Travemunde (Germany), February 4-7, 1992
- [9] A Rogner, W Ehrfeld, D Munchmeyer, P Bley, C Burbaum, J Mohr LIGA based Flexible Microstructures for FiberChip Coupling J Micromech Microeng., 1(1991), pp 167-170
- [10] A Rogner, W Ehrfeld Die LIGA-Technik in der Integrierten Optik VDI-Bericht 876, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991
- [11] W Ehrfeld, J Eichel, R P Peters Utilization of Three-dimensional Microfabrication in Automotive Technology Proc 22nd Int Symp on Automotive Technology & Automation (ISATA), Florence, Italy 14-18 May 1990, Vol 1, pp 451-458
- [12] G Preu, A Wolff, D Cramer, U Bast Microstructuring of piezoelectric Ceramic Proc 2nd ECERS, Augsburg, 11-14 September 1991
- [13] Kt is de verhouding tussen uitgestraald ultrasoon vermogen en ingekoppeld elektrisch vermogen
- [14] Q is de maat voor de bandbreedte van de uitgestraalde frequenties ten opzichte van de resonantiefrequentie behorend bij de aangelegde spanning