

Het meerfasen-etsen Fotochemische metaalbewerkingen

F.J.I.M. van Rongen

De sectie Micro-techniek van de Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme techniek van de T.U. Delft heeft de beschikking over een laboratorium voor Micro-bewerkingen. In dit laboratorium is een uitgebreide faciliteit voor fotochemische metaalbewerking ondergebracht.

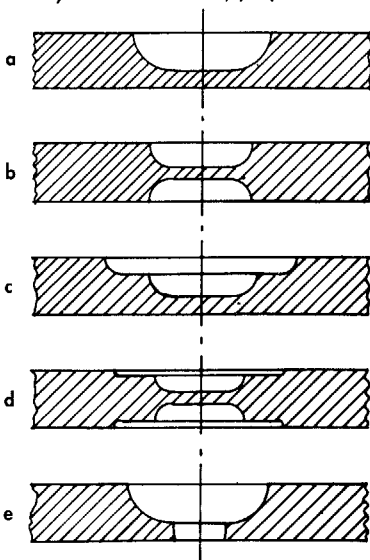
De techniek van het foto-etsen is bij uitstek geschikt om op snelle wijze fijnmechanische constructie-elementen te vervaardigen uit dun plaatmateriaal, zie ook [1].

De hieronder beschreven producten hebben alle te maken met het meerfasen-etsen.

Onder meerfasen-etsen wordt verstaan het plaatselijk in de dikte etsen van plaatmateriaal.

De verschillende mogelijkheden van etsen van deze methode zijn (zie respectievelijk de figuren 1a - 1e):

- enkelzijdig op de gewenste diepte (1a),
- dubbelzijdig symmetrisch op diepte (1b),
- enkelzijdig op een aantal diepten (1c),
- dubbelzijdig op een aantal diepten (1d),
- asymmetrisch etsen, (1e).



Figuur 1a - e. Dwarsdoorsneden van geëtsde structuren.

Alvorens op de bovengenoemde materie in te gaan, zal eerst een inzicht worden gegeven in het etsproces zelf, speciaal met betrekking tot de breedten van de smalst nog te etsen sleuven en dammen bij een bepaalde materiaaldikte.

Daartoe zijn in het verleden uitgebreide etsproeven gedaan in verenstaal van verschillende dikten.

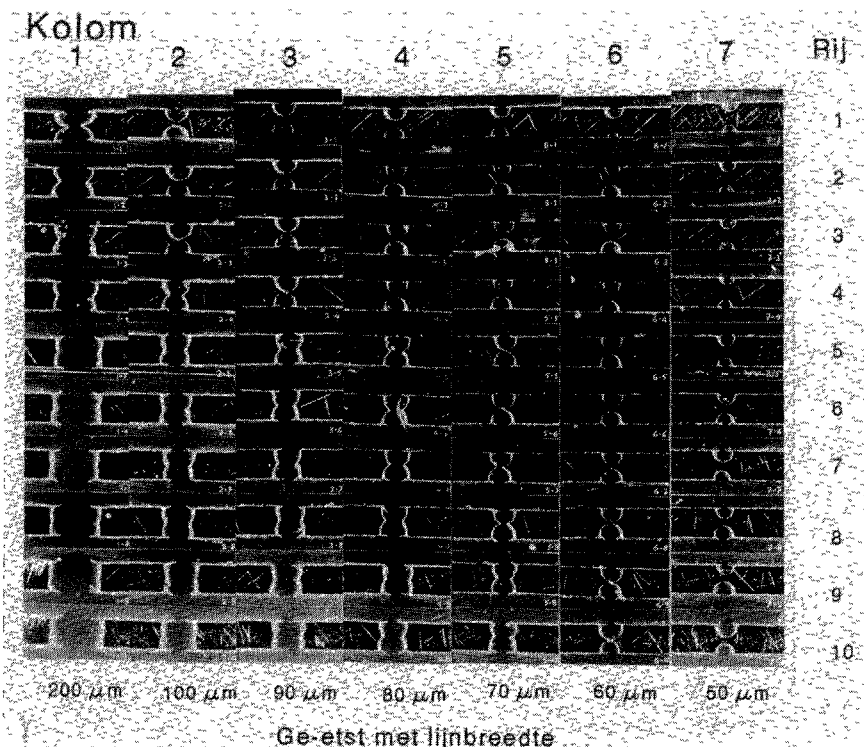
Het hier gepresenteerde heeft betrekking op materiaal van 200µm dik. Hierin zijn sleuven geëtsd met een afnemende lijnbreedte op het masker. In figuur 2 zijn dwarsdoorsneden van de sleuven in de verschillende stadia van het etsen afgebeeld. Deze sleuven zijn geëtsd met lijnbreedten van 200µm en 100 t/m 50µm, zie kolom 1 t/m 7. Voor de proef zijn 10 platen geëtsd (zie rijen 1 t/m 10). Na het net dooretzen van het plaatmateriaal ter plaatse van kolom 1 is het etsen van de eerste plaat beëindigd en zijn de daarop volgende platen met vaste tussentijden aan het etsproces onttrokken (rij 1 t/m 10) Om de doorsneden zichtbaar te maken zijn de platen ingebed in giethars

en daarna geslepen en gepolijst. Zo wordt een goed inzicht verkregen in het verloop van het proces. Nadere beschouwing heeft geleerd dat sleuven geëtsd met lijnbreedten groter dan 150 à 200µm allemaal in dezelfde tijd dooretzen bij deze materiaaldikte.

Bij sleuven geëtsd met lijnen smaller dan 150µm is zichtbaar dat naarmate de lijnen smaller worden, het etsproces langzamer verloopt (zie rij 1).

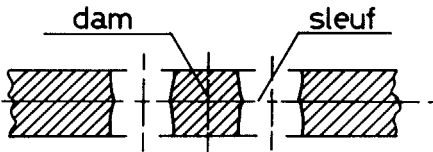
De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat, naarmate de verhouding van de etsdiepte ten opzichte van beschikbare spleetbreedte in de fotoresist groter wordt, het etsmiddel steeds slechter kan circuleren en verversen

Aan de hand van figuur 2 kan ook duidelijk gemaakt worden waarom het niet mogelijk is om smallere sleuven te etsen dan ca. 1 maal de plaatdikte. Op het moment van het net dooretzen (zie kolom 2, rij 3) bestaat de dwarsdoorsnede uit twee halve cirkels met een straal van ~100µm. In de kolommen 3 t/m 6 is dezelfde configuratie terug te vinden, al-



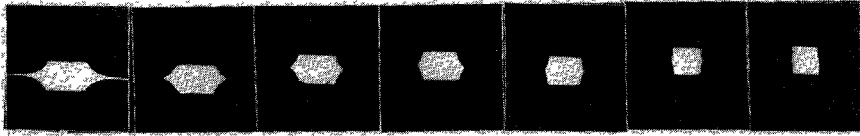
Figuur 2. Fotografiek bij het etsen van kleine sleuven (opgebouwd uit 70 foto's).

Fotochemische metaalbewerkingen



Figuur 3a. Schematische voorstelling van sleuven en een dam.

Figuur 3b. Verloop van het etsproces bij het etsen van verenstalen dammen. (De achtergrond is zwart.)



leen ontstaat deze situatie na langere etstijd. Het is mogelijk vanuit de laatste situatie rechte contouren te etsen. De etstijd is alleen veel langer dan bij bredere lijnbreedten het geval is, terwijl de sleufbreedte toch niet smaller wordt dan 1 maal de plaatdikte. Ondertussen zijn sleuven geëts met bredere patroonlijnen al veel meer ondergeëts. Het heeft dus geen zin om met deze techniek smallere sleuven te willen etsen.

De ondergrens bij het etsen van smalle dammen wordt grotendeels bepaald door de geometrie van de dam, de hechting van de resist aan het materiaal, de materiaal soort en de materiaaldikte. Door onderetsing zullen bij dammen smaller dan ca. 1 maal de plaatdikte de verhouding tussen de, door onderetsing ontsane, overstekende fotoresist-rand en de resist die nog hecht aan het werkstukmateriaal, te groot worden.

Onder invloed van het sproeien tijdens het etsproces zullen de overstekende resist-randen mechanisch worden belast en zal de resist loslaten

Een veilige richtlijn voor ontwerpers is dat de smalst nog te etsen dam ca. 1 maal de plaatdikte bedraagt. In bijzondere gevallen kan ervan worden afgeweken. Dit moet per ontwerp en het te etsen materiaal bekeken worden. Figuur 3a laat schematisch een sleuf en een dam zien; figuur 3b laat bij de dammen het verloop van de onderetsing zien.

Het meergefasen-etsen

Aan de hand van een aantal voorbeelden zal worden getracht een inzicht te geven in de mogelijkheden van het meergefasen-etsen.

Deze voorbeelden zijn:

- Het asymmetrisch verjongd etsen bij de vervaardiging van schaduwmaskers zoals die worden gebruikt in TV-beeldbuizen

- Het plaatselijk verjongen van bladveren om de scharnierpunten in rechtgeleidingen vast te leggen.
- Het plaatselijk symmetrisch verjongd etsen bij de vervaardiging van spleetpatronen.
- Het vervaardigen van harmonica-bladveren.
- Het meergefasen-etsen gebruikmakend van positieve resist.
- Het vervaardigen van spiraalgroeflagers.

Het verjongd etsen bij de vervaardiging van schaduwmaskers in TV-beeldbuizen

De schaduwmaskers in TV-beeldbuizen worden niet bij Micro-techniek vervaardigd, maar dienen slechts als een voorbeeld dat voor iedereen herkenbaar is.

De maskers hebben tot doel de stralen

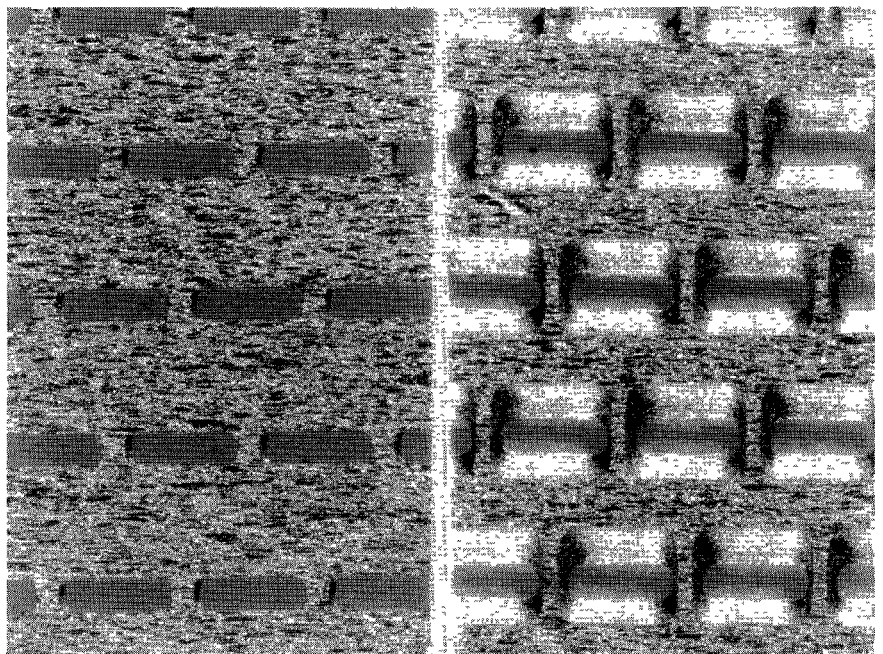
van het elektronenkanon selectief door te laten en daardoor de fluorescerende laag aan de binnenzijde van de beeldbuis op de juiste plaatsen te laten oplichten.

Deze sleuven van het hier getoonde masker (zie figuur 4) hebben aan een zijde een breedte van 0,2 mm, aan de andere kant is de breedte 0,5 mm (doorsnede zoals figuur 1e). De plaatdikte bedraagt 0,18 mm. Het asymmetrisch etsen maakt het mogelijk om relatief smalle spleten te etsen in noodgedwongen dik materiaal zodat het masker een zekere stijfheid kan behouden.

Bovendien zullen de elektronenbundels die het masker af scannen geen hinder ondervinden van schaduwwerking, omdat op de plaats waar de bundel intreedt het materiaal zeer dun is. De eis van het braam- en spanningsvrij zijn van het masker maakt dat een andere bewerkingstechniek nauwelijks tot de mogelijkheden behoort.

Het plaatselijk verjongen van bladveren om de scharnierpunten vast te leggen

Een essentieel onderdeel van een bij Micro-techniek ontwikkelde elektromechanische hoekomzetter is een kinematisch verantwoorde rechtgeleiding, zie figuur 5a. Belangrijk in dit constructie-element zijn de scharnierpunten, die in dit geval door enkelzijdig verjongd etsen

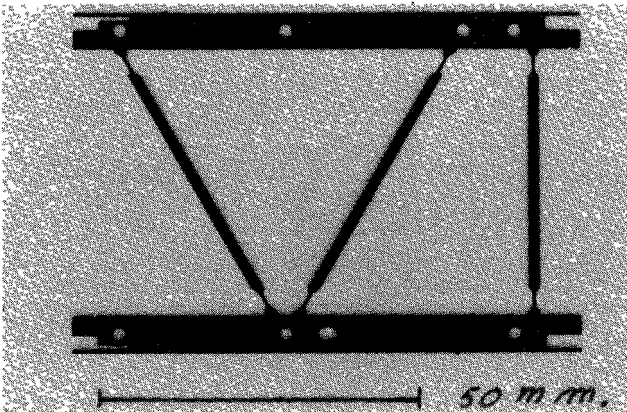


Figuur 4. Voor en achterzijde van een schaduwmasker voor een TV-beeldbuis (asymmetrisch etsen volgens figuur 1e).

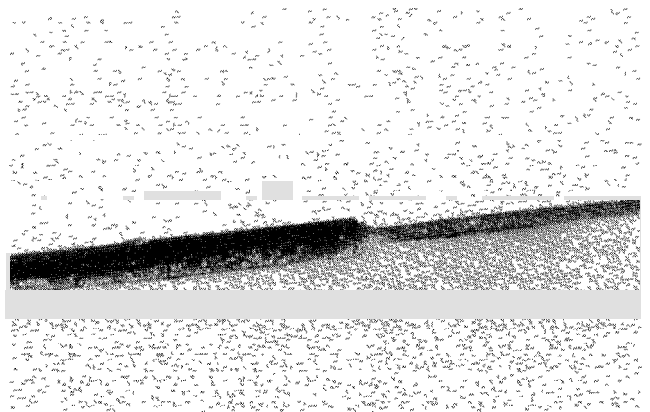
zijn verkregen, zie de figuren 5b en 5c. De verbindingstaven blijven door de veel grotere doorsnede veel stijver dan de scharnierpunten. Het gebruikte materiaal is verenstaal van 0,6 mm dik, op de plaats van de verjongingen is het materiaal weggeëst tot $0,2 \text{ mm} \pm 5 \mu\text{m}$

Een nadeel van deze manier van verjongen kan zijn, dat door het enkelzijdig etsen op de plaats van de verjonging de oppervlaktespanning, die in het materiaal aanwezig is, vrijkomt. Dat heeft tot gevolg dat het produkt op die plaatsen wat krom gaat staan. Indien dat be-

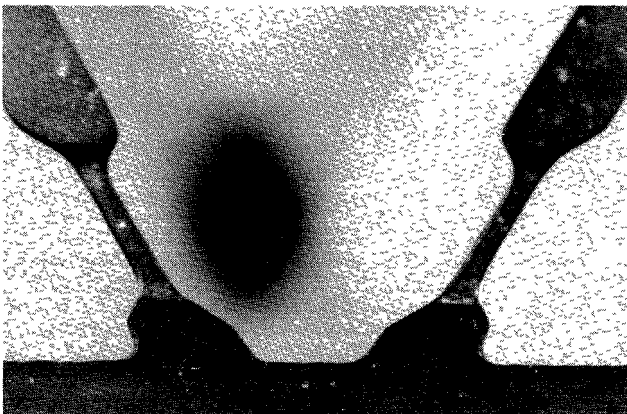
zwaarlijk is, is het ook mogelijk symmetrisch te verjongen.



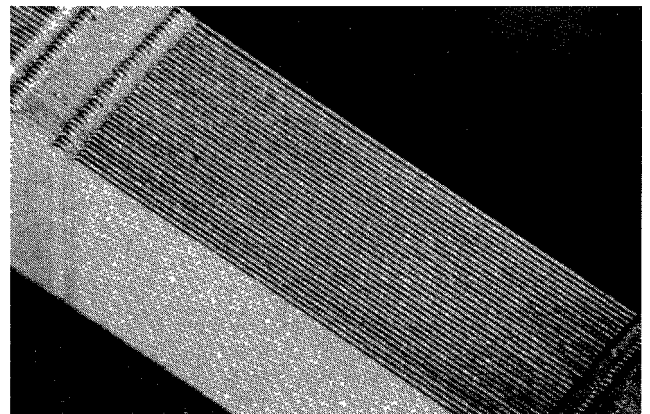
Figuur 5a. Een deel van de verjongde bladveren voor een bladveerparallelgeleiding.



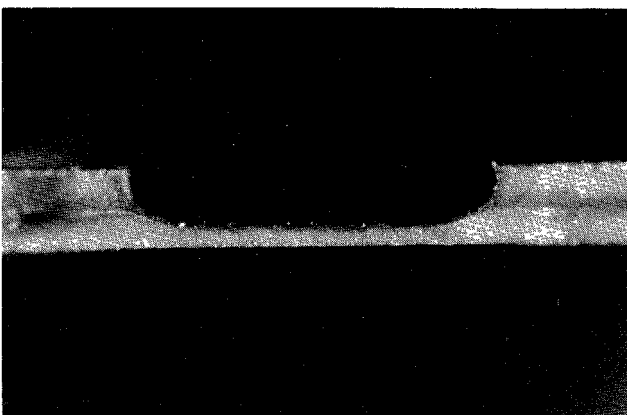
Figuur 6a. Deel van een verjongde lamel (dikte respectievelijk 100 en $50 \mu\text{m}$)



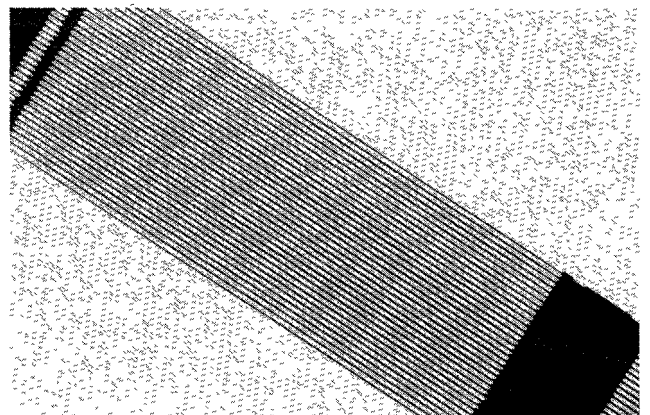
Figuur 5b. Detail van de verjongde bladveren.



Figuur 6b. Bovenaanzicht van een deel van een moduul. De verhouding tussen de spleetbreedte en de hoogte is 1:100.



Figuur 5c. Dwarsdoorsnede van de verjongde bladveer.



Figuur 6c. De moduul van de collimator gefotografeerd met doorvallend licht.

Fotochemische metaalbewerkingen

Het plaatselijk symmetrisch verjongen van lamellen bij de vervaardiging van spleetpatronen

Enkele toekomstige astronomische ruimteonderzoekprojecten van de NASA hebben tot doel afbeeldingen te maken van de zon en sterrenstelsels in het gebied van de röntgen- en gammastraling. Daartoe zijn collimatoren nodig met de volgende specificatie:

In materiaal met een dikte van 5 mm moeten doorgaande sleuven met een breedte van 50µm komen. De steek van

deze sleuven is 100µm. Het gebruikte materiaal is wolfram. Het oppervlak van de collimatoren in de observatierichting is ongeveer 130 x 130 mm.

Het hier gepresenteerde laat slechts een klein deel van de ets-technische voorontwikkeling zien. Zoals in dit artikel al is uitgelegd is het etstechnisch onmogelijk om de sleuven direct in de plaatdikte van 5 mm te etsen

De sectie Micro-techniek heeft een bruikbare fabricagemethode ontwikkeld, die gebruik maakt van het meerfasen-etsen

De sleuven met het ertussen liggende materiaal worden verkregen door stapeling van plaatselijk verjongde lamellen, zie de figuren 6a, 6b en 6c. Mede doordat het etsproces een spanningvrije bewerking is en de produkten geen braam hebben is het mogelijk lamellen te vervaardigen van 100µm dik die selectief verjongd zijn tot 50µm dik.

Eerst wordt het materiaal verjongd tot 50µm, dan wordt de fotore-sist gestript en het materiaal opnieuw met fotore-sist bedekt. Via een tweede masker worden de lamellen daarna vrij geëtsd uit het materiaal (negatief procedé).

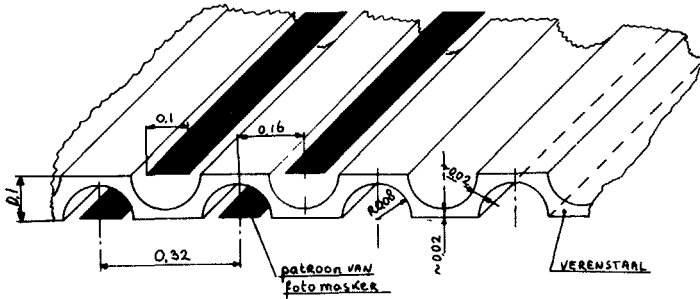
In deze fase van de voorontwikkeling is gebruik gemaakt van eenvoudig te etsen verenstaal.

Men kan met deze manier van werken pakketten van tientallen lamellen samenstellen, waarvan de steek door samenknippen van de lamellen en het vastlijmen kan worden vastgelegd.

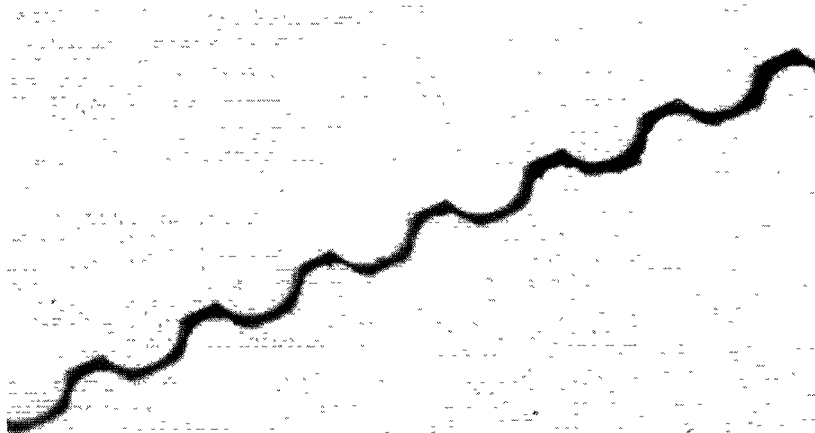
Het verjongd etsen bij de vervaardiging van harmonica-bladveren

De harmonica-bladveer heeft zijn naam te danken aan de vorm die in deze bladveer verwezenlijkt is. Deze trekveer kan gunstig gebruikt worden in gevallen waar zeer beperkte inbouwruimte beschikbaar is. De veer wordt vervaardigd door dwars over de breedte, aan de boven en onderzijde van de veer, een lijnenpatroon in te etsen

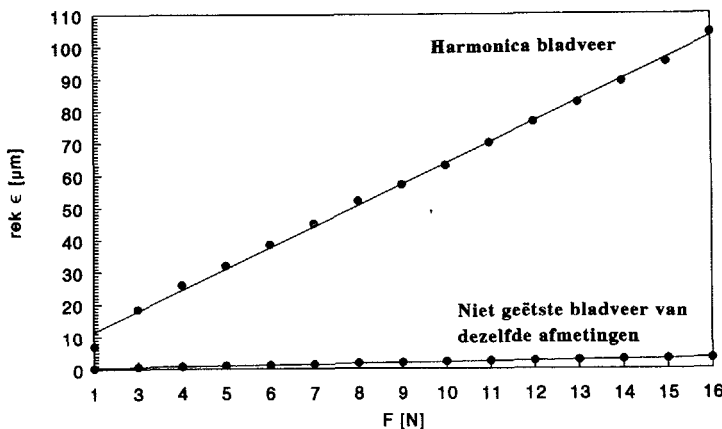
Aan weerszijden liggen uiteraard de geëtsde sporen een halve steek verschoven, zie figuur 7a.



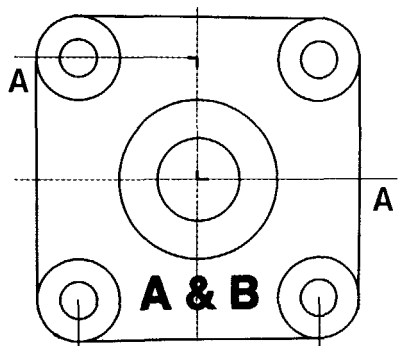
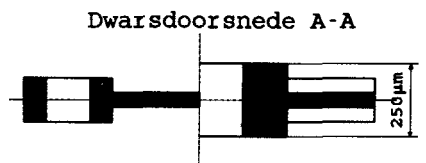
Figuur 7a. Schematische voorstelling van een harmonica-veer.



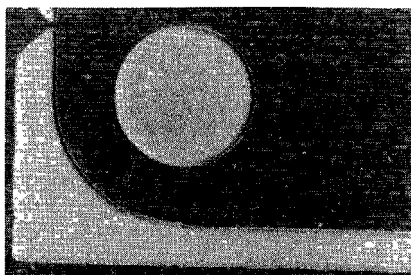
Figuur 7b. Deel van de kapse kant van geëtsde harmonica-veer (100 µm dik)



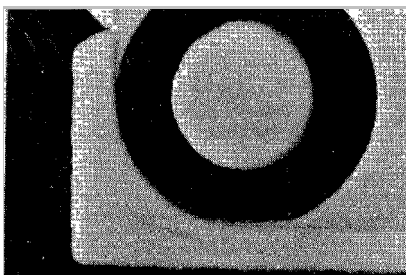
Figuur 7c. Gemeten veer karakteristiek.



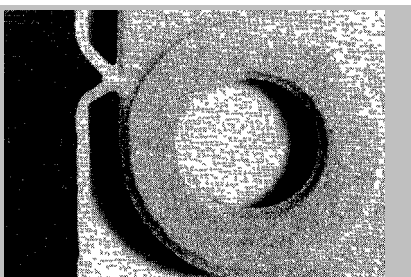
Figuur 8. Schematische voorstelling van het proefproduct. De hoofdafmetingen zijn 20 x 20 x 0,25 mm.



Figuur. 8a De eerste etsfase.



Figuur. 8b De tweede etsfase.



Figuur 8c. De derde etsfase.



Figuur 8d. Alle etsstadia

De hier getoonde bladveer is 100 μ m dik, 20 mm breed en 135 mm lang. Voor het verkrijgen van dit product is het juiste ontwerp van de maskers van zeer groot belang. Zowel de lijnbreedte als de steek moeten nauwkeurig worden bepaald.

Verder is het belangrijk dat de beide maskers nauwkeurig worden gepositioneerd. Ook gelijke etssnelheid, aan beide kanten van het werkstuk, is van belang voor de nauwkeurigheid van het eindproduct. De lijnbreedte en de steek van de harmonica-bladveer kan worden

gevonden door in figuur 2, kolom 2 foto 1 te bestuderen. Het materiaal is geëtst met een lijnbreedte van 100 μ m, het materiaal is nog niet doorgeëtst, het dammetje dat nog aanwezig is ca. 40 μ m dik, de spoorbreedte aan de bovenkant is ca. 160 μ m.

Als men naar deze proefstrook kijkt alsof er enkelzijdig geëtst is in materiaal van 100 μ m dik en men schuift het onderste etsspoor op, dan volgen daar vanzelf de afmetingen uit zoals te zien zijn in figuur 7a. Figuur 7b toont het geëteste resultaat. De harmonica-bladveer is op een trekbank beproefd. In de grafiek van figuur 7c is de resulterende veer karakteristiek weergegeven. Ter vergelijking is ook de veer karakteristiek van een massieve plaat van dezelfde afmetingen weergegeven.

Het meerfasen-etsen gebruikmakend van positieve fotoresist

Een van de voordelen van positieve fotoresist is dat de niet geëteste delen van het werkstuk lichtgevoelig blijven. Dat maakt het mogelijk het werkstuk meermaals te belichten en te etsen. Voor iedere etsfase is een nieuw fotomasker nodig. Een van de problemen die zich daarbij voordoen is dat de maskers op het al eens belichte en geëteste materiaal gepositioneerd moeten worden. Om het positioneren te vereenvoudigen zijn de diverse maskers voorzien van instelkenmerken. Om een inzicht te krijgen in de reproduceerbaarheid bij het etsen op verschillende ni-

veau's, is een proefproduct vervaardigd met drie dikten (zie figuur 8): een ongeëtst deel en twee dünnere delen. De materiaaldikte waarvan uitgegaan is bedraagt 250 μ m. Het materiaal is roestvast verstaal.

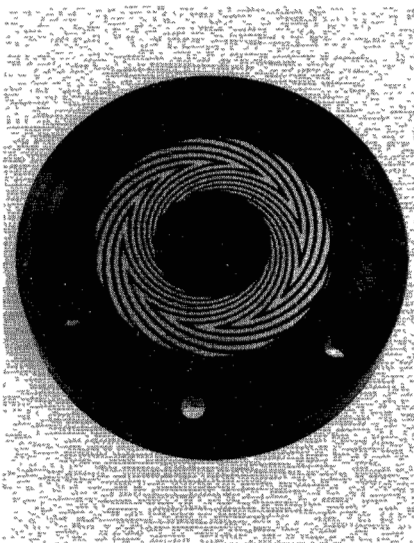
Het eerste masker bevat de delen van het product die geheel doorgeëtst moeten worden. De figuren 8a - d tonen de verschillende stadia van het etsen.

Spiraalgroeflagers

Een spiraalgroeflager is een zelfwerkend lager waarvan een van de twee loopvlakken is voorzien van een groevenpatroon, zie figuur 9. Als de loopvlakken in de juiste draairichting ten opzichte van elkaar bewegen, ontstaat in het tussengelegen smeermiddel een overdruk ten gevolge van de stuwende werking van het groevenpatroon. Hierdoor houdt het smeermiddel de loopvlakken van elkaar gescheiden waardoor een zeer lage wrijving ontstaat. Als smeermiddel komen in aanmerking: lucht, olie of vet. Omdat de groeven een redelijk gecompliceerd patroon bezitten, behoort het etsen tot de meest geschikte vervaardigingstechniek. Temeer omdat de groeven doorgaans slechts een geringe diepte te hebben. Het getoonde lager heeft een groefdiepte van $75 \pm 3 \mu$ m.

Literatuur

[1] Fotochemische metaalbewerkingen, FJIM van Rongen, Mikroniek 31(1991)3, p 70



Figuur 9. Spiraalgroeflager met geëtst groevenpatroon.