



Replicatetechniek voor asferische optische oppervlakken

W. Neumann

Met asferische optiek zijn op relatief eenvoudige wijze afbeeldingsfouten te corrigeren die eigen zijn aan de normale sferische optiek. De fabricage ervan is echter allesbehalve eenvoudig. De replicatetechniek is een van de fabricagemethoden, waarop in dit artikel wordt ingegaan, en waarbij de toepassing ten behoeve van de Zeiss spiegeltelescoop 30 x 60 B/GA T* wordt behandeld.

Inleiding

In afbeeldende optische systemen worden overwegend lenzen en spiegels gebruikt met sferische, dat is zuiver bolvormige, oppervlakken. Dergelijke optische elementen zijn op relatief eenvoudige wijze met een zeer hoge precisie te fabriceren.

Bij het gebruik van sferische oppervlakken treden echter afbeeldingsfouten op. Deze ontstaan onafhankelijk van fabricage- en montage-afwijkingen en zijn inherent aan het gebruiken van deze vlakken. De afbeeldingsfouten die voorkomen zijn sferische aberratie, coma, astigmatisme, beeldveldkromming en vertekening. (Deze beeldfouten zijn behandeld in Mikroniek jaargang 1986 nummer 6.)

Deze fouten zijn over het algemeen vrij gemakkelijk te corrigeren door gebruik te maken van asferische, dat is niet bolvormige, oppervlakken [1]. Het voordeel van het gebruik van asferische oppervlakken is niet alleen dat deze afbeeldingsfouten gemakkelijker te corrigeren zijn, maar vaak zijn ook minder optische componenten nodig en is de benodigde bouw lengte korter. Dit betekent weer dat een objectief een lager gewicht heeft en kortere bouw lengte betekent ook vaak dat er minder strooilight ontstaat. Zo zijn er nog tal van andere aspecten te noemen waarom het toepassen van asferische oppervlakken voordelen heeft.

Sfeer versus asfeer

De vraag die dan voor de hand ligt is natuurlijk waarom asferische vlakken, die zulke grote voordelen hebben bij het op-

timaliseren van een optisch systeem, niet vaker gebruikt worden. Het antwoord is heel eenvoudig: asferische optiek is niet op de conventionele manier te fabriceren. Is het zo dat de sferische optiek heel eenvoudig te fabriceren is, zo is dat bij asferische optiek precies het tegenovergestelde. Een sferisch vlak is in alle richtingen symmetrisch. Een sferisch lens- of spiegelvlak is een schijfje van een grote bol met een straal gelijk aan de kromtestraal van het lensvlak. Waar dat schijfje van de bol afgesneden wordt is van geen belang, de kromming is altijd correct. Bij een asfeer geldt dit echter niet.

Nagenoeg zonder uitzondering zijn asferische oppervlakken wel rotatiesymmetrisch om de optische as. Dit houdt in dat het voor de fabricage van sferische vlakken gebruikelijke productieprincipes niet benut kan worden. Sferische vlakken worden namelijk vervaardigd door een tegengesteld gevormd bolvormig gereedschap zo willekeurig mogelijk over het lens- of spiegelvlak te bewegen. Als de kromtestraal veel groter is dan de diameter van het lens- of spiegelvlak en de diameter daarvan klein is, dan kunnen met eenzelfde gereedschap een aantal optische vlakken tegelijkertijd geslepen en vervolgens tegelijkertijd gepolijst worden.

Deze manier van fabricage is voor asferische vlakken niet mogelijk omdat elke asfeer een as van symmetrie heeft waardoor telkens slechts een produkt gefabriceerd kan worden. Ten gevolge van asferische vorm kan het hele oppervlak niet in een keer gepolijst worden, maar moet gewerkt worden met gereedschappen die een bepaalde zone bewerken.

Aangezien de vormen van asferen vaak slechts enkele microns afwijken van een sfeer, en bovendien nog met een vormnauwkeurigheid tot minder dan 1/25 van een micron van de theoretische vorm, moge duidelijk zijn dat het fabriceren van dit soort vlakken een hachelijk karwei lijkt.

Welnu hachelijk is het niet, maar wel zeer tijdrovend.

Tegenwoordig kunnen asferische opper-



Figuur 1. Zeiss Spiegeltelescoop 30 x 60 B/GA T*.

vlakken ook op een andere manier gefabriceerd worden, namelijk met behulp van CAM (Computer Aided Manufacturing). Bij het reduceren van de productiekosten speelt ook de replicatetechniek een belangrijke rol. Andere methodes zijn ook nog het persen van blenks (ronde glasschijfjes op hoge temperatuur en daardoor in plastische toestand) en het spuitgieten van kunststofflensjes. Het blijkt echter dat bij de laatste twee genoemde technieken slechts een zeer matige nauwkeurigheid kan worden bereikt.

H. Rinia en P.M. van Alphen [2] beschrijven het fabricageproces van optisch gedefinieerde dunne kunststoflagen op daarvoor geschikte substraten. In het volgende worden de problemen beschreven die opgelost moeten worden alvorens de seriefabricage van de asferische afsluitplaat (figuur 3) in de spiegeltelescoop Zeiss 30 x 60 B/GA T* (figuur 1), volgens deze techniek van start kan gaan.

Onder het begrip replicatetechniek wordt verstaan: het overdragen van de complexe vorm van een matrijs (master) op een drager (substraat) met behulp van een dunne kunststoflaag (lamel) tussen de matrijs en de drager.

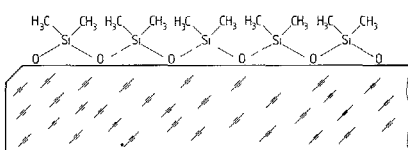
De voorbereiding van de matrijs

De kunststoflaag bestaat uit een thermisch uithardende epoxyhars, de matrijs is van glas gemaakt. Om het van de (asferische) kunststoflaag voorziene substraat naderhand goed van de matrijs te kunnen lossen moet die voorzien zijn van een scheidingsmiddel. Oppervlakken die

voorzien zijn van een laagje siliconen laten los van epoxy polymeren. Echter, de normaal in de handel verkrijgbare siliconen-lossingsmiddelen kunnen niet gebruikt worden. Een belangrijk punt daarbij is dat aan de vorm van de te maken asfeer zeer hoge eisen gesteld worden en deze scheidingslaag gauw te grote afwijkingen ten opzichte van de theoretische vorm geeft. Een andere reden is dat het aantal keren dat de matrijs gebruikt wordt, alvorens een herbehandeling ervan nodig is, te klein is

Om de adsorptie-eigenschappen van het glasoppervlak van de matrijs zo te beïnvloeden dat de lossing optimaal is, wordt een gedeeltelijk gehydrolyseerd mengsel van monochloor- en dichloorsilan aangebracht. Daaraan voorafgaand is het oppervlak met geconcentreerd zwavelzuur en vervolgens met een reinigingsmiddel voor optische vlakken schoongemaakt, zodat alle vet- en olieresten verwijderd zijn.

Na een korte pauze bij omgevingstemperatuur, waarbij een verdere hydrolyse optreedt, worden de natte residuen met een zacht papierdoekje afgeveegd. Behalve de hydrolyse van het Silan/Siloxanmengsel ordenen zich op het oppervlak de reeds gevormde respectievelijk zich nog vormende molecuulketens zich zodanig dat de Si-O-Si ketens zich naar het glasoppervlak richten; zie figuur 2.



Figuur 2. Oriëntering van de Siloxan ketens op het glasoppervlak van de matrijs.

Deze georiënteerde Siloxanfilm wordt op het glasoppervlak van de matrijs door middel van inbranden gefixeerd, waarbij de inbrandduur en inbrandtemperatuur [3] [4] een belangrijke rol spelen voor de bereikbare kwaliteit van de siliconenfilm met betrekking tot de waterafstotende eigenschappen en de houdbaarheid.

Met een op deze wijze geprepareerde matrijs kunnen ca. tien produkten gemaakt worden. Daarna is een nieuwe behandeling noodzakelijk, die herhaald kan worden totdat ca. 120-140 produkten per matrijs vervaardigd zijn. Daarna ontstaan vormfouten bij de produkten die de gestelde toleranties overschrijden. Deze fouten worden meestal veroor-

zaakt door beschadiging van het matrijsoppervlak ten gevolge van het veelvuldig gebruik.

De buiten de toleranties liggende matrijsen moeten dan met een asterische slijpmachine [1] gecorrigeerd worden en vervolgens weer gepolijst. De te gebruiken matrijsen dienen een nauwkeurigheid te hebben die tenminste een klasse beter is dan die van het uiteindelijke produkt.

Deze eis is zo hoog omdat bij de replica-techniek iedere onnauwkeurigheid wordt vergroot.

Het aanbrengen van de kunststof-laag

De zeer goed gereinigde substraten en de van de siliconenlaag voorziene matrijsen worden in een houder bevestigd en bij een temperatuur van ca. 60 graden Celsius gedurende ca. 1 uur getemperd.

Vervolgens wordt de matrijs wederom uit de houder gehaald en de benodigde hoeveelheid epoxyhars op het substraat aangebracht. Daarna wordt de matrijs zodanig op de druppel hars gelegd dat deze blijft drijven. Door toevoeging van een hardingscomponent wordt de gebruikte epoxyhars vervolgens thermisch gepolymeriseerd.

Om de reactie te starten zijn stoffen toegevoegd die de vereiste elektronen en protonen leveren [5] [6]. De samenstelling van het mengsel maakt de vorming van verscheidene polymeren mogelijk, die verschillen in eigenschappen [6] [7] [8].

De belangrijkste moeilijkheid bij de fabricage van deze zeer dunne asferische lagen blijkt het krimpgedrag te zijn van de polymeer. Dit laatste is duidelijk te zien als een plotseling knikken van de interferentielijnen bij de controle met een interferometer. Dit krimpen is het gevolg van veranderingen in de moleculaire opbouw van de laag gedurende de polymerisatie. De tijdens het uitharden optredende krimpkrachten kunnen leiden tot pinholes of putjes en een ongelijkmatige, niet strakke, oppervlaktestgesteldheid.

Belangrijke chemische factoren waarmee men het krimpgedrag van dunne lagen kan beïnvloeden zijn onder andere verandering en variatie van de functionele groepen van de gebruikte hars. Om het krimpen bij het gebruik van in handel verkrijgbare epoxyharsmengsels te kunnen beheersen moet men de berekende

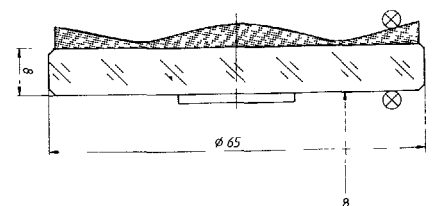
hoeveelheden van de componenten van het hardingsmengsel zo nauwkeurig mogelijk aanhouden.

Ook is het noodzakelijk elke nieuwe charge van het mengsel hars-harder voor de vrijgave van de fabricage op de noodzakelijke bestanddelen te controleren. Een van de mogelijkheden daartoe is het bepalen van de brekingsindex in vloeibare gemengde toestand.

Na het uitharden van de hars is de matrijs aan het substraat 'vastgekit' en moet met behulp van een springring gescheiden worden. Het substraat is nu voorzien van een dunne kunststoflaag 2-25 μm dik, die de tegengestelde vorm van de matrijs heeft. Op deze replicalaag wordt een antireflexlaag aangebracht voor dat gedeelte, dat gebruikt wordt in het optisch systeem. De meting van de vorm van het oppervlak van de replica wordt uitgevoerd met behulp van een Twyman-interferometer met compensatiesysteem.

Replica van de vangspiegel

De vangspiegel, dit is een deel van de asferische afsluitplaat volgens figuur 3, is een verspiegelde asferische vorm, die eveneens met behulp van de replicatechniek wordt vervaardigd. Daartoe wordt



Figuur 3. Schmidt-plaat voor de 30 x 60 B/GA* na het verwijderen van de matrijs. De ontspiegelde epoxyharslaag (boven) werd sterk vergroot getekend.

op de asferische matrijs in een recipiënt een laag van verschillende metalen opgedampt, waarop vervolgens na enkele dagen veroudering nog een lagensysteem van drie diëlektrische lagen en een metaallaag wordt opgedampt. Er volgt nog een warmtebehandeling van de matrijs. De zo geprepareerde matrijs van de vangspiegel wordt nu door middel van een epoxyharslaag aan het substraat - dus de toekomstige vangspiegel - door middel van thermische uitharding verbonden.

Door middel van een springring wordt het eerder beschreven lagenstelsel zodanig gescheiden dat de drie diëlektrische

Replicatetechniek voor asferische optische oppervlakken

lagen en hun metaallaag met de epoxy-laag en het substraat een geheel vormen. Op deze manier is het mogelijk een reflectieverhogende spiegelende laag compleet met kunststoflaag (de lamel) op het substraat over te dragen en zo een asferische vangspiegel te fabriceren.

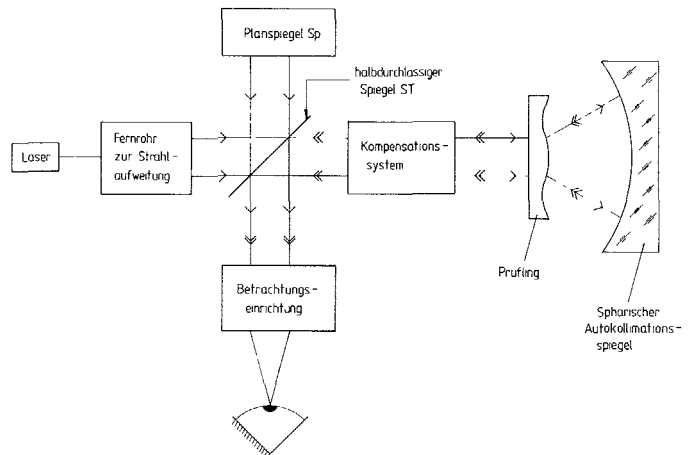
Het samenvoegen van de asferische componenten

De asferische Schmidt-plaat en de asferische vangspiegel, zie figuur 4, worden door middel van een koudhardende epoxyhars in een centreerhulpstuk uitgericht en vastgekit. De nog niet geheel vastgekitte vangspiegel wordt daartoe in een autocollimatiemicroscop zo uitgericht dat de excentriciteit beneden de 2' ligt. De uitharding vindt plaats door deze samenstelling twaalf uur onberoerd bij kamertemperatuur te laten staan.

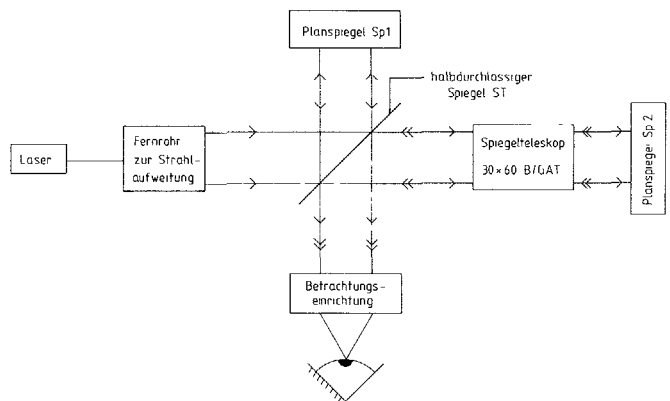
De interferometrische meting

De interferometrische meettechniek is ook voor asferische componenten van grote betekenis. In een interferometer volgens Twyman en Green, zie figuur 5, wordt een bundel van een HeNe-laser (golflengte is 633 nm) allereerst met behulp van een bundelvergroter op de noodzakelijke bundeldiameter gebracht en vervolgens door een halfdoorlatende spiegel ST opgesplitst in een referentiebundel en een testbundel. De vlakke referentiebundel - dit is een bundel met een vlak golffront - wordt door een vlakke spiegel SP in zichzelf teruggekaatst en passeert vrijwel onveranderd de halfdoorlatende spiegel ST. Deze vlakke re-

Figuur 5. Schema van de opbouw van de interferometer voor het controleren van asferische vormen zoals bijvoorbeeld Schmidt-platen.



Figuur 7. Schematische weergave van de opbouw van de interferometer voor de controle van de complete spiegeltelescoop 30 x 60 B/GAT*



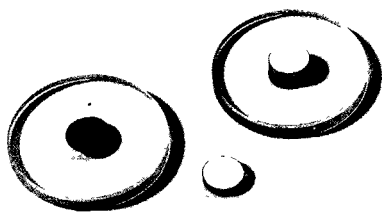
ferentiebundel is bij een interferometrische meting het referentievlak en de testbundel die van het te controleren object afkomt wordt daarmee vergeleken.

De testbundel passeert de te controleren lens tweemaal en als die foutloos is zal de bundel niet vervormen, dus vlak zijn gebleven. Door de halfdoorlatende spiegel worden de beide bundels samengevoegd. Door licht kantelen van deze spiegel kan dan een interferentiebeeld met "rechte" lijnen worden verkregen, dat zichtbaar is in het waarnemingspunt. Omdat een asferische lens een corrigerende werking heeft moet deze correctie door een andere lens teniet worden gedaan opdat een normaal, bruikbaar interferentiebeeld ontstaat.

Fouten in de asferische vorm van het oppervlak leiden ertoe dat de uittrekkende bundel niet op de vooraf berekende manier vervormd wordt ofwel, zoals de ontwerpers van de optiek zeggen, dat de optische lichtweg op de plaats van de fout van de vooraf berekende streefwaarde afwijkt. Het resultaat is dat de

waargenomen interferentielijnen niet meer recht zijn, maar bulten en punten vertonen, zie figuur 6. Daarbij betekent een bult met een hoogte van de gemiddelde afstand tussen de interferentielijnen een lokale fout van de lichtweg met een grootte van één golflengte van het licht dat bij de meting wordt gebruikt, dus 633 μm bij een HeNe-laser. Omdat de te controleren lens twee keer door de testbundel wordt gepasseerd en bij zijn toepassing in de spiegeltelescoop slechts een keer, houdt dit in dat de voor de controle van de asferische Schmidt-plaat geëiste minimale nauwkeurigheid van 1 lijn afwijking, een maximale afwijking van het golffront betekent van 0,316 μm .

De hier geschetste interferometrische controle is nodig om de kwaliteit van de vervaardigde asferische oppervlakken voortdurend te bewaken. De compleet gemonteerde en gejusteerde spiegeltelescoop 30x60 B/GA T* wordt in de afdeling kwaliteitsbeheer eveneens interferometrisch onderzocht. De meetopstelling die hiervoor gebruikt wordt is aanzien-



Figuur 4. Schmidt-plaat, vangspiegel en de complete asferische afsluitplaat.



Figuur 6. Interferentiebeeld van een asferische Schmidt-plaat.

lijk eenvoudiger van opzet omdat de telescoop zelf een object op een oneindige afstand afbeeldt. Bij een perfect instrument treedt dus een perfecte vlakke bundel uit het oculair als er een perfecte vlakke bundel wordt aangeboden aan de telescoop. Figuur 7 toont schematisch deze meetopstelling. Wederom heeft men bij deze controle de dubbele gevoeligheid ten opzichte van die bij het normale gebruik van de telescoop, omdat ook in deze meetopstelling het licht twee keer door de telescoop gaat.

Toekomstperspectief

Door de serie-aanpak van de replica-techniek bij de fabricage van asferische optische bouwelementen met een hoge precisie, zijn de kosten van deze componenten aanzienlijk gereduceerd. Deze zouden nog lager worden als het moge-

lijk zou zijn nog meer producten met een matrijs te kunnen maken en de tijd die nodig is voor de vervaardiging van de replica's te verkorten.

Dit laatste zou bijvoorbeeld mogelijk zijn door gebruik van UV-uithardende polyesterharsen die slechts in enkele seconden uitharden. Voor zeer kleine lensvlakken (digitale audiodisc- en videodiscsystemen) is dit bij Philips [9] met een dergelijke uithardend methacrylaatsysteem bereikt. Aan de realisatie van grotere lenzen wordt wereldwijd op verschillende plaatsen gewerkt.

Literatuur:

- [1] E Heynacher, Zeiss Informationen, Oberkochen, 24 (1978/79) aflevering 88, pagina 19-25
- [2] H Rinia, P.M van Alphen, Philips Technisch Tijdschrift, 2, (1947) pagina 349
- [3] M Rieder, H Steinbach, Glastechnische Berichte, 51 (1978) 3, pagina 55-61
- [4] W Noll, H Wissbach, Zement, Kalk, Gips, 9 (1956) pagina 476-486
- [5] M Fischer, F Lohse, R Schmidt, Makromol Chem, 181 (1980) pagina 1251-1287
- [6] L Matejka, J Lovy, S Pokornuy, K Bouchal, K Dusek, J Polym Sci Polym Chem Ed 21 (1983) pagina 2873
- [7] M Fedtke, F Domaratus, Polymer Bulletin, 15 (1986) pagina 13-19
- [8] S Tanaka, H Kakuchi, J Polym Sci A2 (1964) pagina 3405
- [9] R Zwiers, G Dorntant, Applied Optics, 24 (1985) pagina 4483-4488

Dit artikel is eerder verschenen in Zeiss Informationen (1988) aflevering 100. Het werd vertaald en bewerkt door H Rutten.

De auteur W Neumann is werkzaam in het Labor für Transparente Organische Werkstoffe, Carl Zeiss, Oberkochen.

Her en Der

Nieuw leven voor oude cirkelzagen

Het idee werd ooit geboren toen uit een staaf bijzonder gietijzer zoveel mogelijk plakken gezaagd moesten worden en iemand 'zag' dat, als het materiaal kon wentelen zoals op de draaibank, je dit kon doen met een cirkelzaag van de halve diameter. Het zaagblad zou dan tevens veel dunner kunnen zijn, en dus ook veel zuiniger afkorten. Dit leidde de stap in tot het zodanig verslijpen van een cirkelzaagblad, dat er op een draaibank mee kon worden gestoken. De benodigde houder werd zodanig gemaakt dat deze tevens geschikt was voor verslepen zaagjes met andere afmetingen.

Versleten en tandarme cirkelzaagjes genoeg!

Omdat de dikte van het blad van een metaalcirkelzaag is verjongd, vanaf de omtrek tot op een zekere afstand van het gat, ontstaat er in de steekrichting een vrijlopend profiel dat goeddeels de zijdelingse vrijloophoeken van het normale steekmes vervangt. De afgebeelde houder heb ik vervaardigd voor het gebruik op mijn hobby-bankje, bedlengte 130 cm. Schacht en klemdeel zijn gemaakt van veredelingsstaal, 16 x 10 mm. De klemplaat heeft een aangedraaide borst 10 mm diameter, waarop de zaagjes,

40 t/m 80 mm diameter met gaten van 10 t/m 22 mm, kunnen rusten. Deze borst is nodig gebleken omdat anders de zaagjes, die slechts 0,3 mm dun kunnen zijn, moeilijkheden geven in de draad van de trekbout.

De spaanhoek kan op dezelfde manier worden geslepen als de vrijloophoek - zaagblad in het vlak van de slijpsteen gehouden - indien van het blad eerst, bij voorbeeld door breken in een bankschroef, een kleine helft is verwijderd.

Een houder met bovenop een plaatje, om een dergelijk meer-dan-half schijfje tegen het meedraaien te behoeden, voldeed niet. De getekende uitvoering zet voldoende vast, de hoogte van de snijpunt is vrij en bij zwaar happen draait

de snijkant uit het werk.

Een tweede toepassing van oude cirkelzaagjes is het gebruik als verdeelbeitel. Geschikt zijn zogenaamde uurwerkzaagjes van 30 mm diameter met dikten die tot 1 mm kan gaan. Met behulp van een aangepaste houder, die ook zicht dient te geven, moet het snijblad heel kort worden ingespannen, opdat een zijdelingse buiging optimaal wordt teruggedrongen. Lange, nieuwzilveren meeflanelen konden met behulp van deze beiteltjes in één gang worden voorzien van een dubbele barometerverdeling met een diep en keurig rechthoekig streepprofiel.

M. Heubers

