

De koppeling van een monomode glasvezel aan een planair optisch circuit.

Th.J.M. Jongeling

Technisch Fysische Dienst TNO-TH, Delft

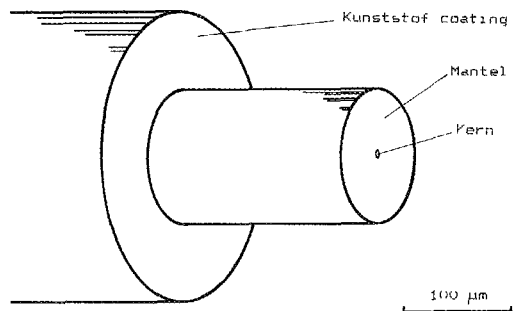
1. Inleiding

Glasvezels zullen een belangrijke rol gaan spelen in toekomstige telecommunicatiesystemen. Dit vanwege de eigenschappen als zeer hoge bandbreedte, lage signaaldemping, lage overspraak tussen signaaldragers, gering gewicht en volume en relatief lage kosten

Een monomode glasvezel bestaat uit een kern met een diameter van circa $10\ \mu\text{m}$ die een iets hogere brekingsindex heeft dan de omgeving, de mantel. De buitendiameter van de vezel is meestal $125\ \mu\text{m}$. Daaromheen is een kunststoflaag aangebracht ter voorkoming van kleine krasjes in het kwartsglas waarop de vezel gemakkelijk zou kunnen breken. Figuur 1 is een schets van de opbouw van een monomode glasvezel. Licht dat op een uiteinde van de kern van de glasvezel invalt, volgt de kern van de glasvezel en wordt zo naar het andere uiteinde van de glasvezel getransporteerd. In een monomode glasvezel kan slechts één trillingswijze van het licht zich voortplanten. Dit voorkomt pulsverbreding door looptijdverschillen van diverse modi zoals deze in multimode vezels optreedt. Monomode vezels zijn daardoor voor lange afstand verbindingen te verkiezen boven multimode vezels.

Voor het gebruik van glasvezels voor informatietransport tussen een zender en een ontvanger zijn zend- en ontvangcomponenten noodzakelijk. Gebruik van halfgeleiders en speciale fotodioden maken datasnelheden van meer dan $1\ \text{GBit/s}$ mogelijk. Door gebruik te maken van diverse lasers met onderling verschillende golf-

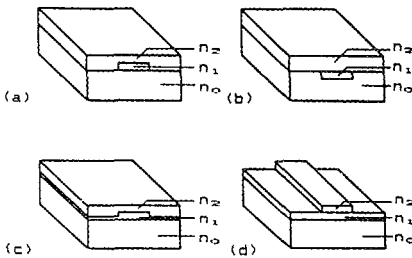
lengten is het mogelijk de informatiestroom te verveelvoudigen (multiplexen). Ieder kanaal (laser) dient dan afzonderlijk aanstuurbaar te zijn en aan de ontvangstkant dienen de kanalen weer gescheiden te worden door middel van al dan niet afstembare spectraal selectieve ontvangers (demultiplexen). Tot zover is hier gesproken van een enkele verbinding tussen een zender en een ontvanger. Er is ook behoefte aan meer complexere netwerken waarbij gewenst is dat niet op elk knooppunt het signaal eerst moet worden omgezet in een elektrisch signaal en vervolgens op meerdere glasvezels verder kan worden getransporteerd. Hiervoor is het noodzakelijk dat optische signaalbewerking en -verwerking mogelijk is.



Figuur 1
De opbouw van een monomode glasvezel

De signaalbewerking kan bestaan uit eenvoudige passieve taken zoals vertakkingen of samenvoegingen, maar ook uit meer ingewikkelde zaken als (de-)multiplexing, schakelbare splitsingen, polarisatie regelaars en dergelijke. Vooral voor deze laatste actieve signaalbewerkingen waarbij zowel lichtgeleiders als lasers en/of detectoren en electronica gebruikt worden, is het gebruik van geïntegreerd optische circuits interessant. De lichtgeleiding vindt plaats volgens dezelfde principes als in glasvezels het geval is. Enkele mogelijkheden voor de realisatie van planaire stripgeleiders zijn geschetst in Figuur 2. Het licht wordt geleid door een zone met een hogere brekingsindex (de kern in een glasvezel) in een omgeving van een lagere brekingsindex. Het grote voordeel van deze circuits is hoge mechanische stabiliteit van de optische 'opstelling' en de mogelijkheid tot het aanmaken van grote aantallen identieke circuits indien het juiste proces en ontwerp is ontwikkeld. Er wordt gestreefd hiervoor een technologie te ontwikkelen die veel analogies vertoont met de bekende elektronische chip fabricage. In het voor tele-

communicatie interessante gebied is het halfgeleidermateriaal Indiumfosfide (InP) optisch transparant. Hierin kunnen lasers, LED's, fotodioden en passieve componenten worden gerealiseerd. Aan de Technische Universiteit te Delft wordt onderzoek verricht naar de vervaardiging van dergelijke componenten op InP substraten. Tevens worden passieve planaire optische circuits ontwikkeld op Silicium substraten. Voor zinvol gebruik van deze circuits is het natuurlijk noodzakelijk dat er een koppeling tot stand kan worden gebracht tussen de glasvezel en het planaire circuit. Deze verbinding dient het optische signaal met zo min mogelijk verlies over te brengen van de vezel naar het planair circuit of omgekeerd. Deze koppeling is niet eenvoudig in het geval van planaire circuits op de genoemde substraten. Er bestaat een samenwerkingsverband van het Dr. Neherlaboratorium van de PTT en de Technisch Fysische Dienst van TNO en Technische Universiteit Delft betreffende geïntegreerde optica onderzoek in Nederland. Het hier beschreven onderzoek maakt tevens deel uit van dit samenwerkingsverband

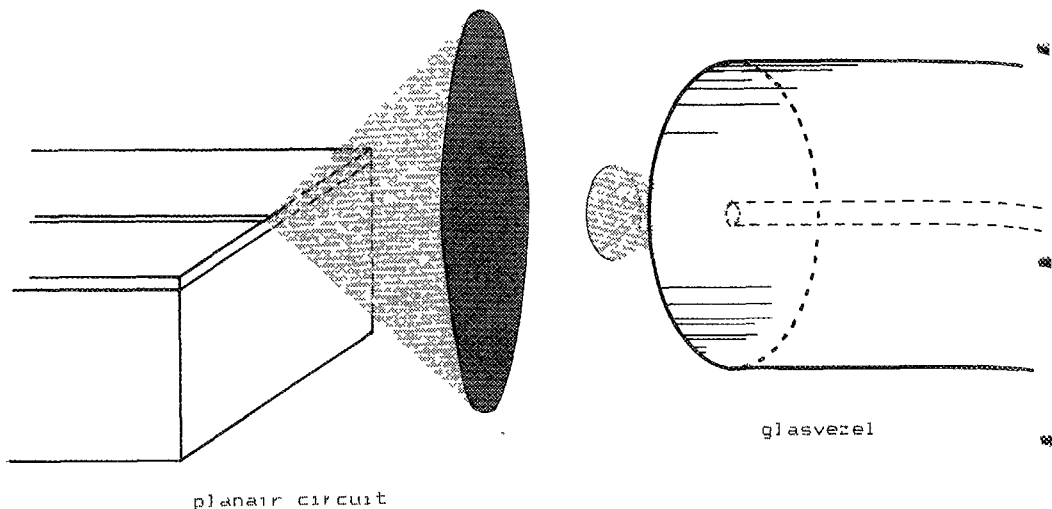


Figuur 2
Verschillende principe oplossingen voor optische planaire stripgeleiders $N_0, N_2 < N_1$. Het licht wordt geleid door de zone met een hogere brekingsindex dan de omgeving

2. De planaire lichtgeleider en de glasvezel

De lichtgeleidende kanalen in de planaire lichtgeleider hebben een veel kleinere doorsnede dan de kern van een monomode glasvezel. Dit komt doordat het brekingsindexverschil tussen de geleidende zone en de omgeving erg hoog is. Dit in tegenstelling tot het toegepaste brekingsindexverschil in monomode glasvezels. De numerieke apertuur van de beide lichtgeleiders is dan ook sterk verschillend. De planaire monomode lichtgeleider heeft een rechthoekige doorsnede van circa $0,3 \times 1 \mu\text{m}$. De kern van een monomode glasvezel is rotatiesymmetrisch met een doorsnede van circa $10 \mu\text{m}$.

De divergentie van het licht dat uit de kopse uiteinden van de planaire lichtgeleider en de vezel vrij kan uit treden is door deze eigenschappen sterk verschillend. Dit is geschetst in Figuur 3. Gerealiseerd dient te



Figuur 3

De ruimtehoek waaronder het licht uit de planaire golfgeleider komt verschilt sterk van de ruimtehoek die een monomode golfgeleider kan invangen. Efficiënte koppelingen vereisen een aanpassing in de vorm van een lens tussen de twee lichtgeleiders.

worden dat lichtwegen omkeerbaar zijn en dat een lichtstraal die buiten de getekende kegel van het uiteinde van bijvoorbeeld de vezel nadert of niet de daar ter plaatse noodzakelijke hoek met de as van de vezel maakt, niet wordt ingevangen in de vezel. Uit Figuur 3 blijkt dat een koppeling met een laag verlies niet zonder meer mogelijk is door de beide uiteinden zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen. De slechte 'passing' van deze uiteinden is op schaal geschetst in Figuur 4. Voor een koppeling met een laag verlies is optiek nodig tussen beide uiteinden die een transformatie verzorgt van de ene lichtkegel naar de andere. Hoe beter dit kan worden gerealiseerd, des te hoger rendement heeft de koppeling. Dit hogere rendement gaat wel ten koste van nauwere toleranties bij het ten opzichte van elkaar positioneren van de twee uiteinden van de vezel en planaire lichtgeleider en de tussenliggende optiek. Deze uitlijnto-

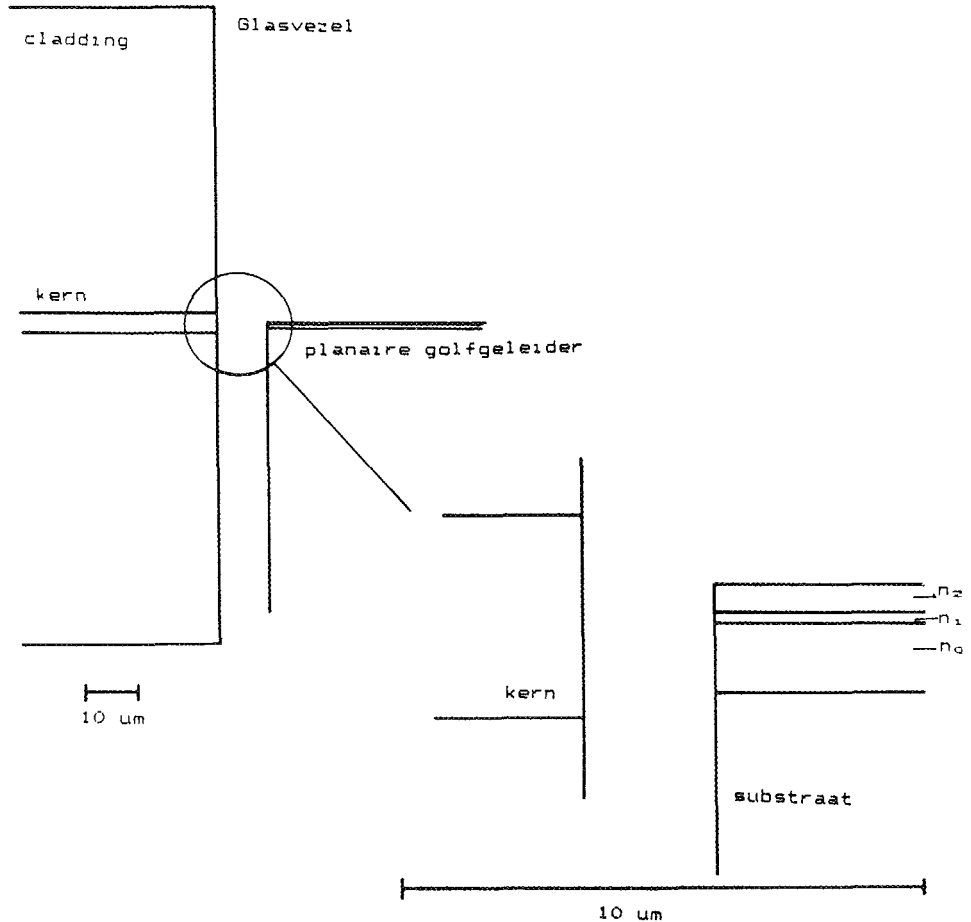
leranties zijn voor een systeem met lage verliezen in de orde van $0,1 \mu\text{m}$. Deze zeer nauwe tolerantie maakt het moeilijk dergelijke componenten op fabrieksmatige wijze te realiseren.

3. Lenzen aan glasvezels

De lens die moet zorgen voor een hoger koppelrendement kan uit oogpunt van stabiliteit het beste geïntegreerd worden met de vezel (1). Integratie in het planair circuit is onmogelijk omdat de sterkste divergentie van het licht aanwezig is in een richting loodrecht op het oppervlak van het circuit. Hierdoor is een planair optische component, die alleen een functie in het vlak van het circuit kan vervullen, ongeschikt. Aan de glasvezel kan een lens gevormd worden door de kopse kant van de glasvezel niet vlak maar rond te maken. Het ronde uiteinde werkt dan als platbolle lens vlak voor de vezel. Er zal enkele tientallen μm voor de

lens een brandpunt gevormd worden. Het rond maken van de vezeltip kan worden gerealiseerd door het slijpen en polijsten van de vezel of door verwarmen. In dat geval smelt de glasvezel rond en is dan meteen (vlam-)gepolijst. Deze laatste methode is sneller maar moeilijker reproduceerbaar te maken dan de polijstmethode. De kromtestraal van de lens is begrensd door de buitendiameter van de glasvezel. Sterkere lenzen kunnen worden gemaakt door de

buitendiameter te verkleinen door het vooraf etsen van de vezel. Bij de verhitingsmethode is het mogelijk de vezel tegelijkertijd met het vormen van de lens uit te rekken tot een dunnere diameter. Dit laatste proces is door ons gekozen voor het maken van lenzen aan glasvezels. In de praktijk wordt een vezel in een trekbank verhit door een elektrische vlamboog en tegelijkertijd langzaam uit elkaar getrokken. De vezel snoert daardoor in. Op een be-



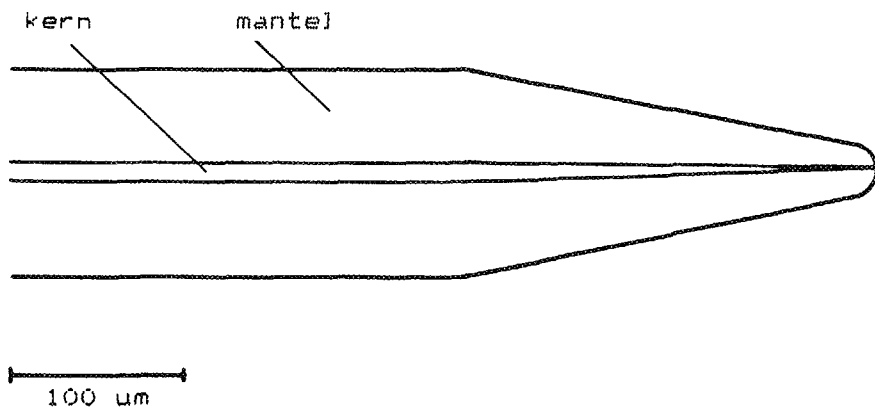
Figuur 4
Een schematische doorsnede van het koppelgebied

paald moment breekt het ingesnoerde gedeelte. De vezeluiteinden worden dan in de vlam rondgesmolten. De temperatuur van de vlamboog heeft grote invloed op het optisch gedrag van deze lenzen. Is de vlam te koud dan is de lens onvoldoende glad. Bij een te hete vlam treedt er menging op van het kern- en mantelglas en werkt de punt niet meer als een nette lens. Een schematische doorsnede van een punt is te zien in Figuur 5. De kromtestraal van de voortip is in de orde van 15 tot 20 μm . Zowel uit het voor dit proces ontwikkelde theoretische model en de experimentele resultaten blijkt dat de maximaal haalbare numerieke apertuur ongeveer verdubbelt vergeleken met de oorspronkelijke vezel. De maximaal haalbare apertuur bedraagt, enigzins afhankelijk van de gebruikte golflengte, 0,25 tot 0,30. Dit ter vergelijking met de oorspronkelijke fiber numerieke apertuur van 0,12 en de waarde 0,5 van het planaire circuit in transversale richting. Er is dus nog steeds een groot verschil te overbruggen ondanks het gebruik van deze techniek.

4. Toevoegen van een extra lens

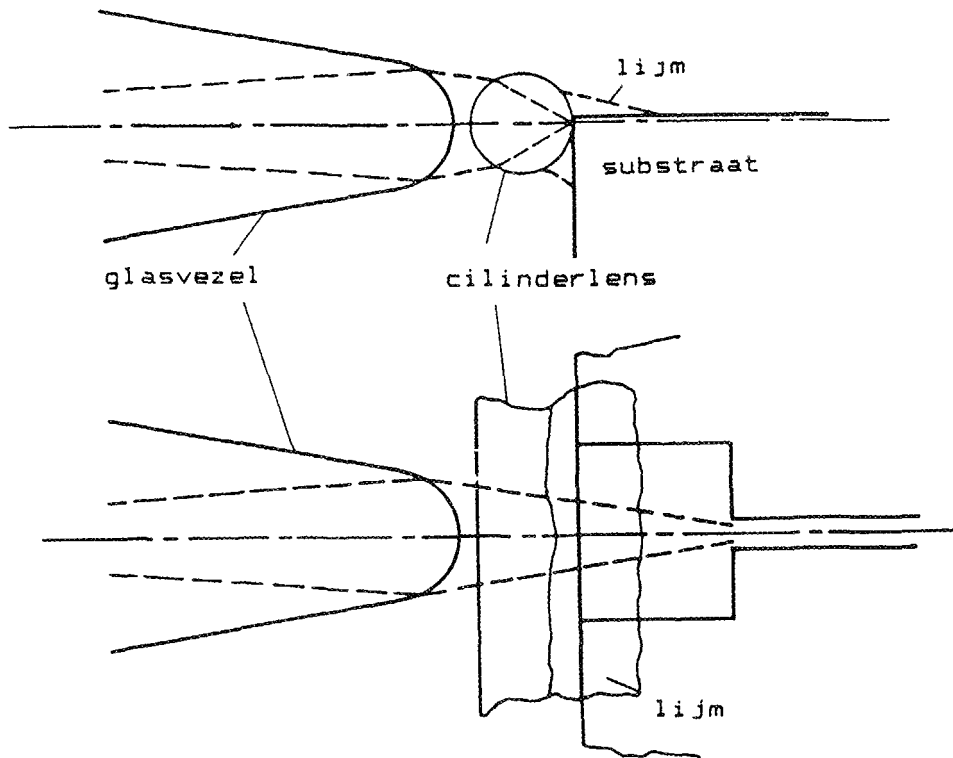
Het is mogelijk de lens aan de voorzijde van de vezel nog sterker te maken door het

toepassen van een lensje van een glas met een hoge brekingsindex (2). Deze methode, die is uitgevonden door Philips en daar ook verder onderzocht wordt, levert rotatiesymmetrische lenzen met een zeer hoge numerieke apertuur. Door de afwijking van rotatiesymmetrie van de planaire lichtgeleider blijft deze methode echter minder geschikt voor het hier gestelde probleem. In laterale richting zou de punt van de glasvezel het licht te veel focuseren. In feite zijn de in de vorige paragraaf beschreven punten voldoende voor aanpassing aan de laterale divergentie van het planaire circuit. De extra focussing in de transversale richting kan worden verzorgd door een cylinderlens die dan tussen de punt van de glasvezel en de kopse zijde van het planaire circuit wordt geplaatst. De cylinderlens moet een diameter hebben van circa 20 μm . De combinatie van de glasvezelpunt en het cylinderlensje is zodanig ontworpen dat het focus van de cylinderlens samenvalt met de achterzijde van de cylinder. Dit geeft de mogelijkheid het cylinderlensje te verlijmen met de kopse zijde van het planaire circuit. Er wordt immers voor het focuseren geen gebruik meer gemaakt van de brekingsindexovergang aan de achterzijde van de cylinderlens. De lijm die hier-



Figuur 5

De vorm van een glasvezelpunt die zich gedraagt als lens



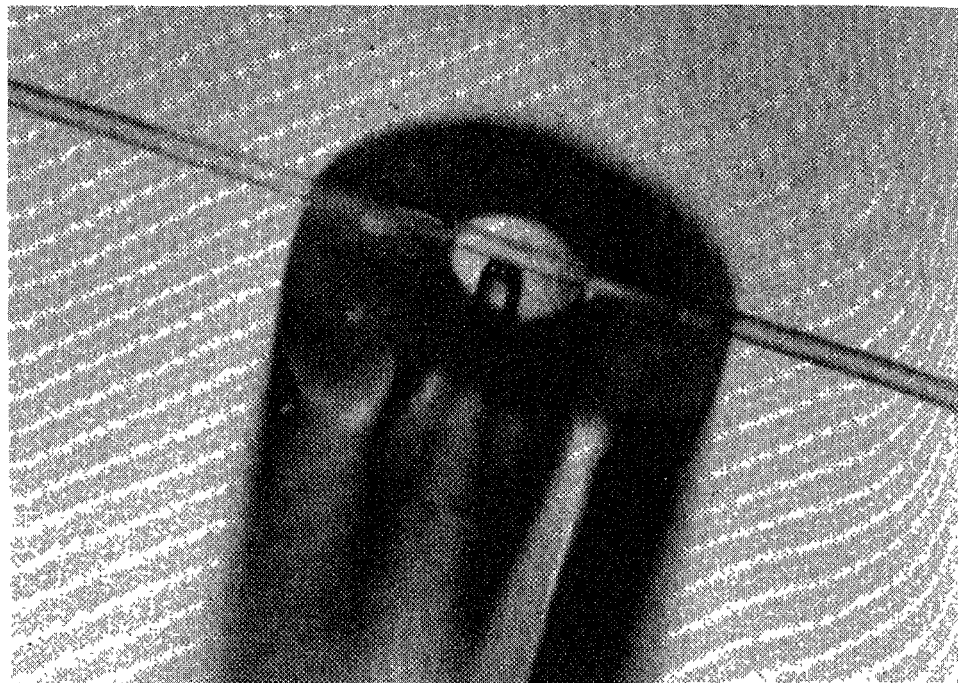
Figuur 6

Een cilindrische microlens tussen de punt van de glasvezel en de planaire golfgeleider, zijaanzicht en bovenaanzicht. Gestippeld is de stralengang van het licht getekend.

voor gebruikt wordt is een acrylaat lijm die uithardt onder invloed van ultra-violet licht. De lijm is in dit optisch systeem een soort immersie vloeistof. Figuur 6 is een tekening van de opbouw van het hier beschreven optisch stelsel.

De realisatie van het hier genoemde lenzenstelseltje met twee lenzen in een totale lengte van circa $40 \mu\text{m}$ is als volgt uitgevoerd. De cilinderlens, in feite niets meer dan een stukje dun getrokken glasdraad, wordt op de voorzijde van een capillair gelijmd met een interne diameter van $130 \mu\text{m}$. De lengte van een capillair is circa 5 mm. De glasvezelpunt wordt nu via het nog open uiteinde van het capillair tot vlak bij

de cilinderlens gebracht. Door naar het verre veld patroon te kijken van licht uit de vezel dat door het stelsel straalt en het draaien en schuiven van de vezel is het optisch systeem vrij eenvoudig uit te lijnen. Als het stelsel goed is uitgericht wordt de vezel met behulp van UV-acrylaat verlijmd in het capillair. Dit stelsel vormt nu een geheel met de glasvezel en is nu gemakkelijk hanteerbaar. Figuur 7 is een microfoto van een lenzenstelseltje gezien vanaf de voorzijde. Het puntje van de glasvezel is nog juist zichtbaar. Het kleinste focus dat met een dergelijk systeem is bereikt meet circa $0,8 \times 1,5 \mu\text{m}$ bij een gebruikte golflengte van 633 nm .



Figuur 7

Microfoto van een lenzenstelseltje bestaande uit een cilindrelens en een glasvezelpunt, gemonteerd in een capillar

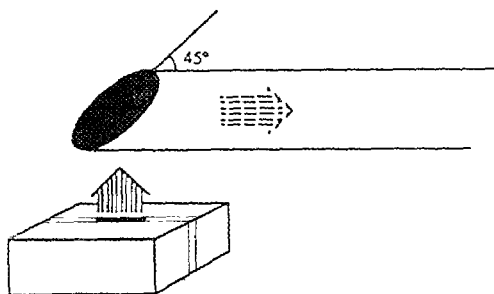
5. Resultaten

Uit praktische overwegingen is voor een eerste experimentenserie besloten met 633 nm licht (HeNe laser) te werken in plaats van de in telecommunicatie gebruikelijke golflengten van 1300 nm en 1550 nm. Theoretisch is vastgesteld dat de koppeling op 633 nm iets minder goed zal functioneren dan op 1300 nm. Dit komt voornamelijk doordat 1300 nm licht een andere buiging vertoont dan 633 nm licht. Hierdoor is de maximaal haalbare numerieke apertuur van bijvoorbeeld een glasvezelpunt bij de langere golflengte wat groter. Met de vervaardigde lenzenstelseltjes zijn koppelexperimenten gedaan. Met behulp van een speciaal voor dat doel gebouwde XYZ translatie-eenheid met een resolutie van $0,1 \mu\text{m}$ in de X- en Z-richting in het vlak van de planaire lichtgeleider en

$0,02 \mu\text{m}$ in de Y richting werden de lensjes uitgericht voor de kopse zijde van de planaire lichtgeleider en verlijmd. De experimenten toonden aan dat een hogere koppel-efficiëntie mogelijk was met de cilindrelens-punt combinatie dan met een punt met een maximale numerieke apertuur. De resultaten waren een inkoppeling van 50% efficiëntie bij de punt alleen en 60% efficiëntie bij de combinatie van punt en cilindrelens. Deze waarden zijn hoog en vergelijkbaar met door andere onderzoeksgroepen gepubliceerde resultaten.

6. Andere benaderingswijzen

De methode die hier werd gekozen maakt het noodzakelijk de uitrichtnauwkeurigheid erg hoog te maken. De koppelresultaten zijn dan wel erg goed maar de gevoeligheid voor geringe uitlijnfouten is ook hoog.



Figuur 8

De koppeling van een monomode glasvezel aan een planair circuit door middel van een 45 graden spiegeltje aan de vezel.

Steeds meer gaan onderzoeksgroepen, die zich bezighouden met dit koppelprobleem, zich toeleggen op systemen die dan misschien niet de hoogst mogelijke efficiëntie halen, maar die een grotere tolerantie toelaten bij het uitrichten. Dit geldt in het bijzonder voor de uitrichtprocedures die plaats moeten vinden in de slotfase van de productie van bepaalde componenten. Uitval door uitlijnfouten in een laat stadium van het productieproces kost nu eenmaal meer dan in eerdere fase. Voor het introduceren van optische communicatietechnieken op abonnee niveau is het in verband met de grote noodzakelijke aantallen van belang dat de koppelingen tegen zeer geringe kosten gemaakt kunnen worden. Dit is wat minder van betekenis bij grote datacommunicatie lijnen bijvoorbeeld tussen enkele centrales. Indat geval worden de kosten gedragen door een groot aantal aansluitingen

De oplossing van het uitlijntoleratieprobleem wordt onder meer gezocht in de toepassing van meerdere lenzen. Er zijn methodes tot vier stuks lenzen toe, waarbij de minder kritische stappen het laatst aan

de beurt zijn. Andere methoden stappen af van een werkelijke afbeelding van de modus van de planaire lichtgeleider op die van de vezel, en omgekeerd. Dit laatste geeft duidelijk grotere toleranties maar het is moeilijk nog redelijke efficiënties mogelijk te maken. Tevens wordt in enkele nieuwe methoden afgezien van een uniaxiale plaatsing van de glasvezel en planaire lichtgeleider.

Een van deze niet-axiale koppelingen die tevens erg eenvoudig is, is onlangs gepubliceerd (3). De methode is ontwikkeld voor het koppelen van een monomode glasvezel aan een halfgeleider laser, maar is ook zonder meer toepasbaar op andere planaire lichtgeleiders. De as van glasvezel en het planaire kanaal staan bij deze oplossing loodrecht op elkaar. De bij deze opstelling noodzakelijke hoekspiegel die de voortplantingsrichting 90 graden afbuigt is gemaakt door de glasvezel onder 45 graden te slijpen en te polijsten. Dit vlakje wordt daarna van een goudcoating voorzien. Voordat het licht uit de laser via dit spiegeltje in lengterichting van de glasvezel kan worden gestuurd, wordt het gebroken door de buitenwand van de cilindrische glasvezel, zie Figuur 8. Deze buitenwand heeft daarmee de functie van cylinderlens om de asymmetrie van de modus uit de laser te corrigeren. De sterkte van de cylinderlens kan worden gekozen door de vezel dikker of dunner te kiezen. De diameter van de vezel kan door een etsprocedure tot de gewenste waarde worden teruggebracht. Er is dus geen rotatiesymmetrische lens in dit systeem aanwezig. Door de afwezigheid van een echte afbeelding van de uitgang van de laser op de ingang van de glasvezel is er een relatief grote uitlijntolerantie. Theoretische berekeningen tonen aan dat ondanks dit gemis zeer hoge efficiënties haalbaar moeten zijn. Practische resultaten tonen efficiënties van circa 40%.

Deze methode is hier slechts genoemd als goed voorbeeld van een nieuwe benaderingswijze van het koppelprobleem. Er zijn

ook andere niet-axiale systemen in ontwikkeling.

7. Conclusies

De grote verschillen in de afmetingen en optische eigenschappen van de planaire lichtgeleider en een monomode glasvezel maken het koppelen niet eenvoudig. Oplossing van dit probleem is noodzakelijk voor het op grote schaal toepassen van optische communicatietechnieken. Met behulp van warm gevormde punten aan glasvezels en toepassing van een cylinderlens wordt een goede aanpassing verkre-

gen van de modevorm. De koppefficiëntcy is hoog, de uitrichttoleranties zijn klein. Vergroting van de uitrichttoleranties gaat in het algemeen ten koste van de efficiency. Voor dit laatste probleem worden momenteel oplossingen ontwikkeld.

Referenties

- 1) Wenke G., Y. Zhu, Appl Opt, 19 pp 2906-2909, 1980
- 2) Khoe G.D., H.G. Kock, IEEE J. Lightwave Technol., LT-3 pp. 1315-1320, 1985
- 3) Lee K.S., F S. Barnes, Appl. Opt., 26 pp. 2294-2296, 1987

TECHNISCH NIEUWS

Zeiss-lasers voor alle toepassingen

Lasers hebben bij hun verschijning een nieuw tijdperk van ongekende mogelijkheden ingeluid. Naarmate de toepassing van laserlicht toeneemt, worden de eisen die men aan de onderdelen van een laser stelt, steeds strenger.

Een laserzender bestaat voornamelijk uit optische onderdelen. Het is dus begrijpelijk dat Carl Zeiss als een van de voornaamste optiekproducenten ter wereld zich vanaf het begin met de ontwikkeling en de productie van laserapparatuur heeft beziggehouden. Vooral ook omdat er in het grote leveringsprogramma van Zeiss veel componenten voorkomen, die bij de laser-apparatuur kunnen worden gebruikt voor het opwekken van het licht en voor de optische behandeling daarvan.

Enige jaren geleden lieten de oogartsen van het AMC in Amsterdam de Nederlandse kijkers zien hoe verbazingwekkend simpel oogoperaties zijn met de destijds nieuwe Zeiss YAG-laser. Die spectaculaire TV-uitzending heeft veel opzien gebaard.

Er zijn thans laserinstrumenten voor:

- landmeetkundige afstandsmeting
- biologische microscopie en technische microscopie, voor b.v. de halfgeleiderindustrie
- microchirurgie met operatiemicroscopen in de ophthalmologie, otologie en dermatologie

Behalve complete apparatuur voor de diverse toepassingen levert Zeiss en hele serie speciaal ontwikkelde lasercomponenten en -toebehoren o.a. voor het opwekken en uitzenden van UV-laserlicht.

Zeiss behoort tot de zeer weinige aanbieders op de markt, die alle facetten van het zeer ingewikkelde productieproces in eigen bedrijf kunnen behandelen. Zelfs de kweek van zeldzame kristallen als zuiver calciumfluoride, magnesiumfluoride en lithiumfluoride is een vanouds bekende specialiteit van Zeiss.

Er zijn miniatuur-vaste-lichaam-lasers voor industriële meettechniek en voor micro-materiaalbewerking. Gesloten, compacte CO₂-lasers, bijzonder servicevriendelijk en met een levensduur van minstens 1000 bedrijfsuren, worden o.a. toegepast door fabrikanten van apparatuur voor de bewerking van kunststof, hout en voor microsolderen. Door de keramische bouwwijze zijn de lasercomponenten van Zeiss bijzonder robuust en niet snel te beschadigen.

Algemene oriënterende documentatie is nog niet ter beschikking, maar gerichte toepassingsvragen zullen wij gaarne beantwoorden.

Te Lintelo Systems BV. heeft onlangs de exclusieve vertegenwoordiging verkregen voor de BENELUX voor ILX Lightwave Corp.