

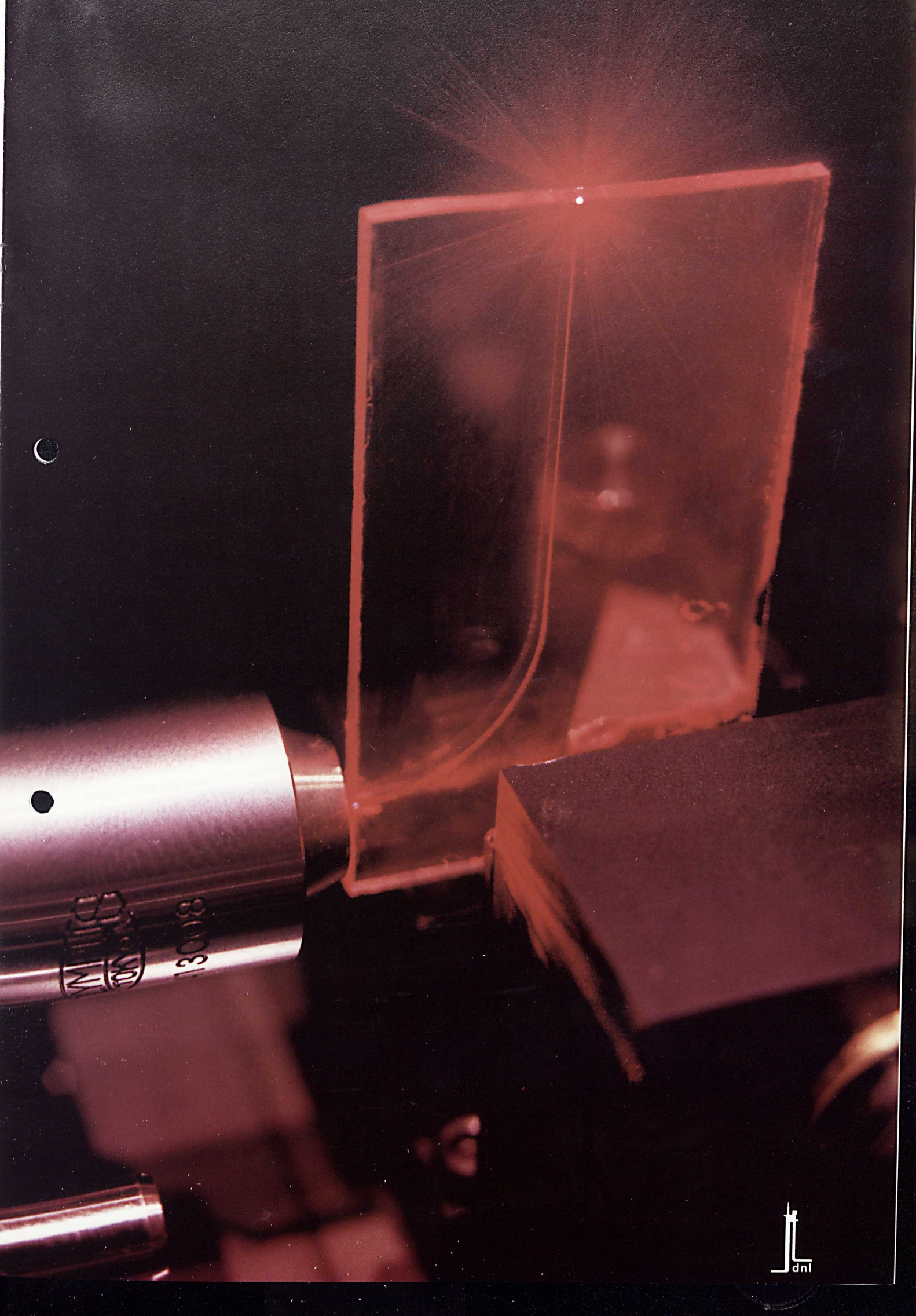
Geïntegreerde optica

Nieuwe perspectieven in optische
communicatiesystemen

© PTT Neher Laboratorium Leidschendam.

Behoudens uitzonderingen door de Wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbende op het auteursrecht van deze uitgave niets hieruit worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins; het vorengesegde is ook van toepassing op de gehele of gedeeltelijke bewerking. De rechthebbende is met uitsluiting van ieder ander gerechtigd de door derden verschuldigde vergoedingen van kopiëren, als bedoeld in artikel 17 lid 2, Auteurswet 1912 en in het K.B. van 20 juni 1974 (Stb. 351) ex artikel 16 b Auteurswet 1912, te innen en/of daartoe in en buiten rechte op te treden.

Copyright reserved. Subject to the exceptions provided for by law, no part of this publication may be reproduced and/or published in print, by photocopying, on microfilm or in any other way without the written consent of the copyrightowner; the same applies to whole or partial adaptations. The copyrightowner retains the sole right to collect from third parties fees payable in respect of copying and/or to take legal or other action for this purpose.



SPINNING
800031

Geïntegreerde optica

Nieuwe perspectieven in optische
communicatiesystemen

Auteur: ir. N.H.G. Baken

Voorwoord

Geïntegreerde optica is een nieuwe discipline die met name een relevante rol zal spelen bij de ontwikkelingen in de optische (tele)communicatie. Belangrijke voordelen die de geïntegreerde optica biedt, zijn de zeer hoge schakelsnelheden (boven 5 Gbit/s), de inherente eenvoud van volledige optische systemen gevormd door in het glasvezelnet opgenomen optische microcircuits, de grote betrouwbaarheid van deze circuits en de mogelijkheid om ze in massa te produceren.

Dit rapport bevat een inleiding in het vakgebied geïntegreerde optica; de nadruk ligt daarbij op de theoretische aspecten. Een goed begrip hiervan is nodig voor een inzicht in de werking van geïntegreerd-optische componenten.

Op het Dr. Neher laboratorium worden bij het project geïntegreerde optica de theoretische en technologische inspanningen ingezet voor het realiseren van een richtkoppeling.



Leidschendam, 10 juli 1985

Nico Baken

Inhoud

| | blz. |
|--|------|
| INLEIDING | 4 |
| HISTORIE RECENTE OPTISCHE COMMUNICATIE | 4 |
| DOELSTELLINGEN GEÏNTEGREERDE OPTICA | 4 |
| BASISSTRUCTUUR OIC | 4 |
| PROPAGATIE LICHT IN PLANAIRE STRUCTUUR | 4 |
| – modi | 5 |
| – berekening k_z -waarden | 5 |
| PASSIEVE COMPONENTEN | 6 |
| – strookgolfgeleiders, tapers, bochten en vorken | 6 |
| – richtkoppelingen | 7 |
| – overige passieve componenten | 7 |
| ACTIEVE COMPONENTEN | 7 |
| TOEPASSINGEN | 7 |
| CONCLUSIE EN STAND VAN ZAKEN | 8 |
| LITERATUUR | 8 |
| DANKBETUIGING | 9 |
| DE AUTEUR | 9 |

Inleiding

Voor communicatie is een drietal 'ingrediënten' noodzakelijk: een zender, een transmissiemedium en een ontvanger. De bron genereert het signaal, het transmissiemedium transporteert het, en de ontvanger detecteert het.

Daarnaast moet er nog aan een aantal vanzelfsprekende eisen zijn voldaan. Zo mag het signaal tijdens het transport niet onherkenbaar worden vervormd bijvoorbeeld door een te grote afstand van zender en ontvanger, of een slechte kwaliteit van het transmissiemedium; tevens dient de ontvanger de taal van de zender te verstaan.

Historie recente optische communicatie

De hedendaagse optische communicatie verwierf haar bestaansrecht met de ontwikkeling van de genoemde drie bestanddelen. Een adequate zender is de halfgeleiderlaser [1]; dit type laser is in het begin van de zestiger jaren ontwikkeld en wordt nog steeds verbeterd qua levensduur en frequentiestabiliteit. In 1966 opperden Kao en Hockham (Groot-Brittannië) het idee om glasvezels te gebruiken als transmissiemedium voor optische signalen, ofschoon deze toen nog enorme dempingen vertoonden door onzuiverheden in de gebruikte glassoorten.

Doordat chemici deze onzuiverheden drastisch wisten te reduceren, kon al in 1970 de 20 dB/km-grens worden doorbroken (Kapron en Keck, Verenigde Staten); daardoor werd de glasvezel een serieuze kandidaat voor de transmissie van optische signalen. Momenteel zijn glasvezels met dempingen kleiner dan 0,5 dB/km geen uitzondering meer. Behalve de verzwakking van het signaal door demping, speelt ook de vervorming ervan door dispersie (lees: pulsverbreding) een rol. Dit legt zeer strikte eisen op aan zowel de halfgeleiderlaser als de glasvezel. De frequentie van de laser moet uitermate stabiel zijn en de spectrale breedte minimaal. De glasvezels dienen bij de gebruikte golflengte de intensiteit, en de vorm van het signaal zo min mogelijk¹⁾ aan te tasten (dispersie). Dispersie heeft een nadelige invloed op de bandbreedte; men onderkent: chromatische, modulus- en golfgeleiderdispersie [2].

De laatste jaren zijn grote verbeteringen geboekt ten aanzien van deze eisen; met name door de ontwikkeling van de zogenaamde Distributed Feed Back halfgeleiderlasers, waar de spiegel functie van de gekleefde eindvlakken bij de conventionele halfgeleiderlasers is overgenomen door tralies in of nabij de actieve laag. Aangezien voldoende snelle detectoren (fotodiodes) beschikbaar zijn, lij-

1) Voor de bewerking van optische signalen zijn met EIC twee conversies, met OIC geen conversies nodig.

ken de eerste vereisten voor de optische communicatie aanwezig. Welke taak is er dan nog voor de geïntegreerde optica weggelegd?

Doelstellingen geïntegreerde optica

De hierboven gegeven abstractie van het begrip communicatie gaat uit van één zender (bron) en één ontvanger (detector). In de praktijk participeren meerdere gebruikers van een communicatiesysteem gelijktijdig in het communicatieproces en zal een centrale nodig zijn voor het opbouwen van de juiste verbindingen. Signalen van diverse bronnen worden dan samengevoegd ('multiplexing') of juist gescheiden ('demultiplexing'), versterkt of verzwakt. Dit gebeurt met optische signalen in een glasvezelnet op dezelfde wijze als met de elektrische signalen in het huidige telefoonnet. In feite bestaat er voor elke bewerking van een elektrisch signaal een optische pendant; deze verzameling van manipulaties met optische signalen is vervat in het begrip 'optical signal processing'. Conventionele elementen voor het bedrijven van optische manipulaties zijn bulk-elementen, zoals prisma's, lenzen, tralies en elektro-optische modulators. Deze elementen moeten trillingsvrij worden geplaatst in een relatief erg grote opstelling. Voor praktische doeleinden buiten het laboratorium is zo'n opstelling niet geschikt, en bovendien te kostbaar. Een alternatief is om het optische signaal voor de bewerking om te zetten in een elektrisch signaal, dat via een 'Electronic Integrated Circuit' kan worden gemanipuleerd. Vervolgens moet dit bewerkte elektrische signaal dan weer in een optisch signaal worden omgezet voor verder transport via de glasvezel(s) (figuur 1).

Duidelijk is dat die twee conversies deze optie niet aantrekkelijk maken. Een oplossing ligt nu eigenlijk voor de hand: maak een Optical Integrated Circuit (OIC), waarbij alle bewerkingen binnen het optische domein blijven. Dit is nu precies de hoofddoelstelling van de geïntegreerde optica: het integreren

van één of meer optische componenten op een optisch substraat. Deze componenten zijn de alternatieven van de genoemde bulk-elementen.

Basisstructuur OIC

De basis voor een OIC is een optisch substraat, met een karakteristiek oppervlak van enige tientallen vierkante millimeters tot enkele vierkante centimeters, en een dikte van enkele millimeters. Dit substraat kan bijvoorbeeld een microscoopglasje zijn. Hierop wordt een uiterst dunne diëlektrische laag, de filmlaag, aangebracht. De dikte van de film varieert, afhankelijk van de toepassing en gebruikte technologie, van 1 tot 50 micron.

Een filmlaag kan ook in het substraat ontstaan door een diffusieproces aan het substraat-oppervlak. De brekingsindex n_f van de film is doorgaans in de orde van 1 percent groter dan de brekingsindex n_s van het substraat; hierdoor kan de film het licht dat erin is gekoppeld als het ware vasthouden. Eventueel wordt op de film nog een deklaag (ook wel cover of superstraat genoemd) aangebracht. De brekingsindex n_c van deze deklaag is in het algemeen veel kleiner dan n_s :

$$1 \leq n_c \ll n_s < n_f$$

Als er geen deklaag is, dan fungeert de lucht boven het OIC als superstraat, en geldt:

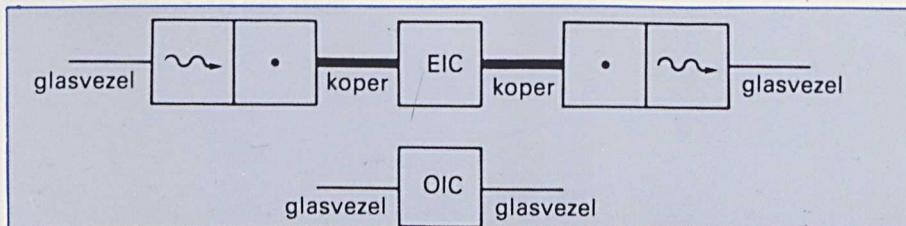
$$n_c = 1.$$

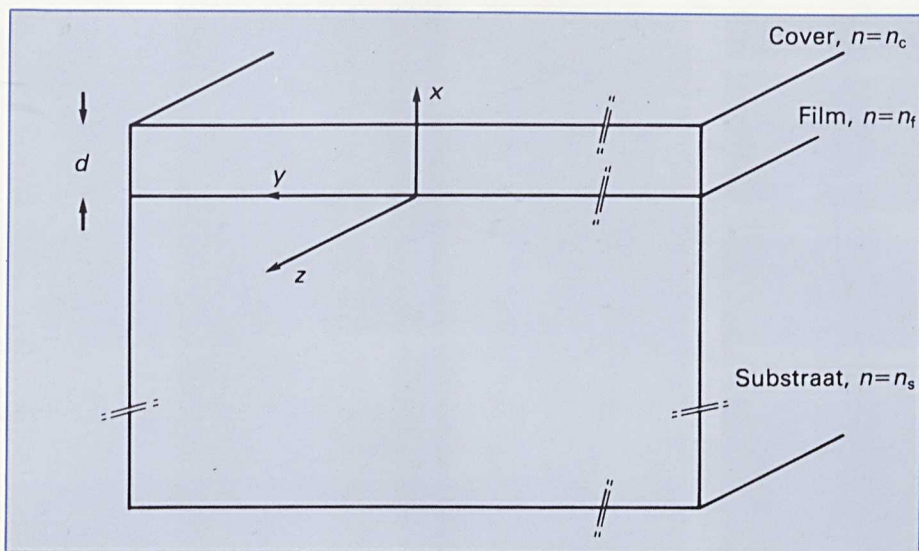
De basisstructuur voor het OIC is dus een vlakke diëlektrische golfgeleider (figuur 2). In of op de film kunnen de componenten worden gemaakt. De materiaalkeuze van het substraat legt evenwel direct beperkingen op aan de types van componenten die kunnen worden geïntegreerd op het OIC. Zo moet voor de integratie van een halfgeleiderlaser het substraat eveneens een halfgeleidermateriaal zijn; als voor het substraat glas is gekozen, dan komen uitsluitend passieve componenten in aanmerking (dat zijn componenten met een tijdsinvariante functie).

Propagatie licht in planaire structuur

De planaire golfgeleider die het uitgangspunt vormt voor een OIC bestaat, zoals gezegd, uit drie discrete lagen: substraat, film en superstraat. Licht dat vanuit de kern van een glasvezel inkoppelt in de film, kan door de hoge brekingsindex van de film niet, of nauwelijks weglekken naar het substraat of het superstraat. Voor het ontwerp van een OIC is het van belang te weten hoe het (laser)licht zich voortplant in de film; hiervoor moeten de voortplantingsconstanten bekend zijn die het intensiteitsprofiel bepalen. Als het intensiteitsprofiel van het licht uit de glasvezel niet goed aansluit op het profiel dat in de film kan bestaan, zal dit grote koppelingsverliezen veroorzaken.

1) Een en ander is afhankelijk van het soort systeem waarin de glasvezels en lasers worden toegepast: in 'Local Area Networks', 'Low-end'-systemen of 'Trunk' verbindingen tussen centrales.





2. Planaire golfgeleider (plak met dunne film).

Daar komt bij dat de demping van de film op zich, in vergelijking met die van de vezel, al erg hoog is. Rekent men bij vezels in tienden van dB per kilometer, bij OIC's treden dempingen op van enkele dB per centimeter. Voor een goed inzicht in de voortplanting van het licht in de film wordt in het onderstaande het begrip 'golfgeleidermodus' of 'oppervlaktemodus' geïntroduceerd.

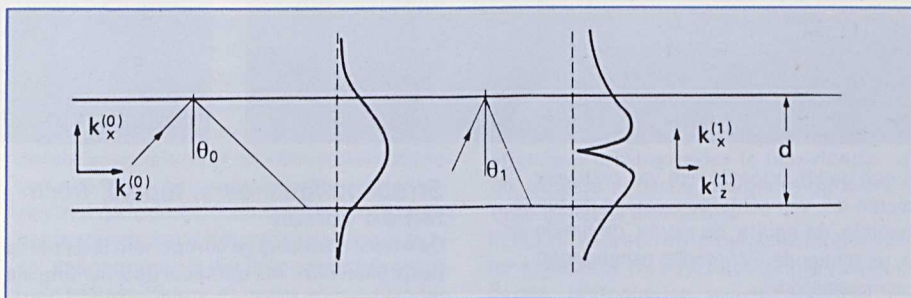
Modi

Het licht in de film kan zich uitsluitend volgens bepaalde 'modi' voortplanten. In de geometrische optica worden deze modi voorgesteld door stralen, die met een voor elke modus karakteristieke hoek θ aan de grenslagen ('interfaces') reflecteren. Het grootste deel van de lichtenergie blijft zo gevangen in de film, net boven het substraat; vandaar dat deze modi oppervlaktegolfmodi²⁾ ('Surface Wave-modi') worden genoemd. De SW-modi worden geordend door hun modegetallen. Deze corresponderen met het aantal maxima in het bijbehorende intensiteitsprofiel verminderd met 1. De laagste orde modus, – dit is de nulde orde modus (ook wel de fundamentele modus genoemd) – heeft precies één maximum; de eerste orde modus heeft er twee, enzovoorts.

In figuur 3 zijn de stralen en de intensiteitsprofielen van de fundamentele en de eerste orde modus getekend; merk op dat het intensiteitsprofiel zich nog enigszins buiten de film uitstrekt (diëlektrische golfgeleiders zijn open golfgeleiders). In een symmetrische golfgeleider (dan is $n_s = n_c$) kan de fundamentele modus zich altijd voortplanten. Dit geldt niet voor hogere orde modi.

Een m^{e} -orde modus zal pas in de film kunnen bestaan bij een voldoende grote film-dikte d , een voldoende groot indexcontrast $n_f n_s$, of een voldoende kleine golflengte van het gebruikte laserlicht. Zijn de eerste twee parameters te klein of is de laatste te groot, dan wordt zo'n modus afgesneden ('cut off'). De genormaliseerde frequentie

$V = k_0 \cdot d(n_f^2 - n_s^2)^{1/2}$ met $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ (λ_0 : golflengte in vacuüm) verenigt de genoemde drie parameters. Bij een gegeven waarde V kan in de film dus slechts een eindig aantal SW-modi bestaan; voor een asymmetrische film kan dit aantal, bij kleine waarden van V , nul zijn. De OIC's zijn doorgaans zo gedimensioneerd dat ze monomodus zijn.



3. Intensiteitsprofiel en stralen voor modi met $m=0$ en $m=1$.

Voor de voortplantingsrichting is de z -richting gekozen (figuur 2, x is de verticale richting loodrecht op de film, en y de laterale richting in het vlak van de film en loodrecht op de voortplantingsrichting). De fasecoëfficiënt k_z in de z -richting (ook genoteerd als β) is voor elke modus verschillend; in plaats van k_z werkt men meestal met de genormeerde grootte $N = k_z/k_0$, de 'mode-index'.

Er geldt steeds dat

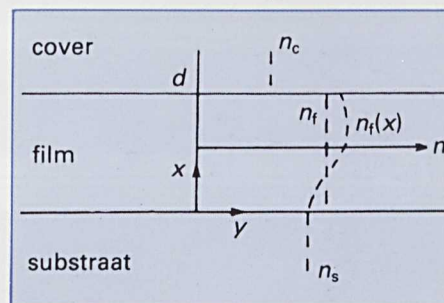
$$n_s < N^{(m)} < N^{(m-1)} < \dots < N^{(1)} < N^{(0)} < n_f$$

Hierin is dan $N^{(m)}$ de mode-index van de m^{e} modus. Hogere orde modi hebben kleinere mode-indices, en dus ook kleinere k_z -waarden, ze 'botsen' daarom per lengte-eenheid in de z -richting yaker tegen de grenslagen (figuur 3); vandaar dat hogere orde modi door strooiingsverliezen sneller uitdempen dan lagere orde modi.

Samenvattend kan dus worden vastgesteld dat het licht in de film zich voortplant volgens een eindig aantal, discrete SW-modi die door

totale reflectie aan de grenslagen zijn opgesloten.

Vanzelfsprekend is het van belang om voor een gegeven golfgeleider (met bekende film-dikte en brekingsindexprofiel) de k_z -waarden van de diverse modi te kunnen bepalen.



4. Step-index en graded-index profiel.

Berekening k_z -waarden

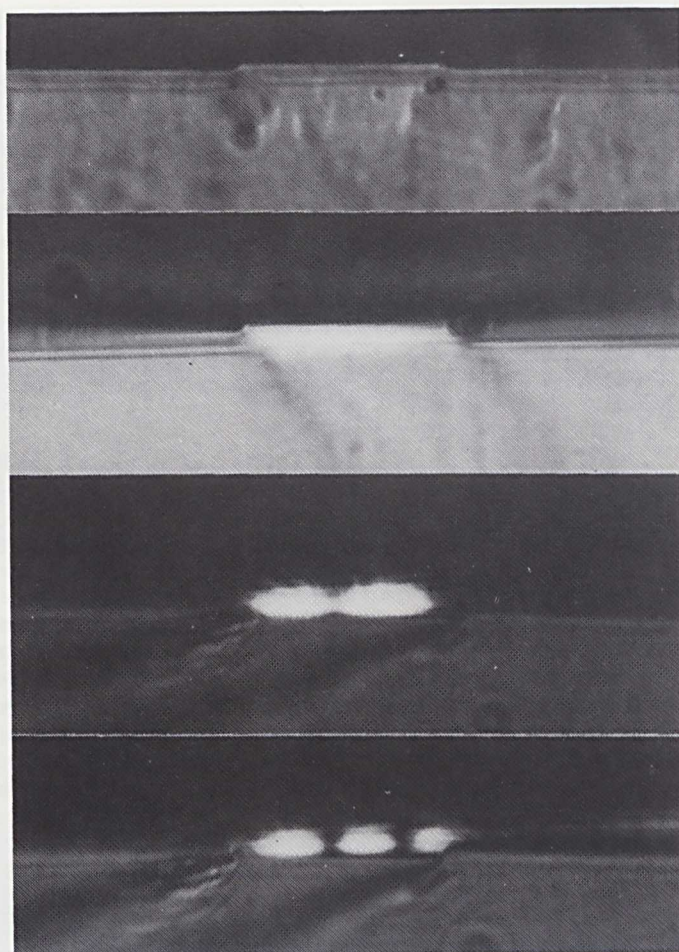
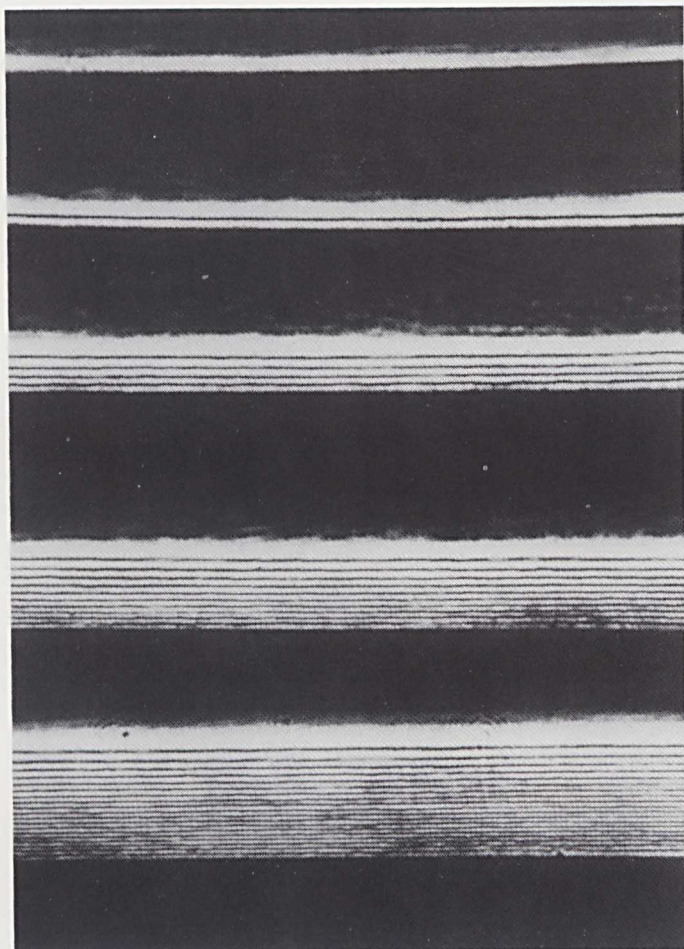
De afleiding van een resonantieconditie waaruit rechtstreeks de k_z -waarden volgen, kan op twee manieren gebeuren. Met behulp van de geometrische optica volgt deze conditie direct door te eisen dat het verschil in fase van een straal aan het begin en eind van een 'reis' van de substraat/film interface naar de

film/cover interface en weer terug een geheel aantal keren 2π moet bedragen.

Anderzijds volgt deze conditie ook uit de Maxwell-vergelijkingen voor het elektrische veld $E(x)$ en het magnetische veld $H(x)$, met de randvoorwaarden die eisen dat de tangentiële veldcomponenten continu zijn over de interfaces. Deze zes partiële differentiaalvergelijkingen kunnen worden ontkoppeld in twee groepjes van drie, omdat in de laterale richting (de y -richting) van de film geen inhomogeniteiten optreden.

Deze ont koppeling correspondeert met twee polarisaties die in de film ook daadwerkelijk onafhankelijk kunnen optreden: de TE-polarisatie en de TM-polarisatie. Bij TE-polarisatie staat de elektrische veld-vector E loodrecht op het vlak waarin de straal zich voortplant ('Transverse Electric'), en bij TM-polarisatie juist de magnetische veld-vector H ('Transverse Magnetic'). De k_z -waarden voor deze polarisaties ontlopen elkaar niet veel (afhankelijk van de asymmetrie van de golf-

2) In feite is dit geen juiste benaming; echte SW-modi kunnen alleen optreden in (niet-lineaire) tweemedia configuraties. De term golfgeleidermodi is beter.



In een gediffundeerde film van ongeveer 15 micron dik, zijn achtereenvolgens de fundamentele, de eerste, de vierde, de tiende en de negentiende SW-modus aangeslagen (compositiefoto).

geleider). Het onderscheid in polarisatie volgt bij de geometrische benadering door de fasesprongetjes, die plaatshebben aan de grensvlakken (Goos-Haenchen schift), verschillend in rekening te brengen.

De index n_f van de film hoeft niet persé constant te zijn, zoals wél het geval is bij step-index golfgeleiders. Als n_f verandert met x ($n_f = n_f(x)$), dan spreekt men van een graded-index film (figuur 4). Voor step-index golfgeleiders zijn de k_z -waarden nog eenvoudig te bepalen, omdat een expliciete uitdrukking voor resonantieconditie is af te leiden.

Bij graded-index films is dit niet zo; slechts voor zeer speciale functies $n_f(x)$ kan dit nog wel. De graded films die door diffusie ontstaan hebben in het algemeen niet zo'n speciaal profiel. Op het Dr Neher laboratorium zijn computerprogramma's ontwikkeld die voor een willekeurig profiel de k_z -waarden en de velden (TE en TM) berekenen.

Passieve componenten

Een OIC komt tot stand door integratie van één of meer optische miniatuur componenten op een optisch substraat. Deze componenten kunnen passief of actief zijn. Passieve componenten kunnen niet worden gestuurd, actieve daarentegen wel.

Strookgolfgeleiders, tapers, bochten en vorken

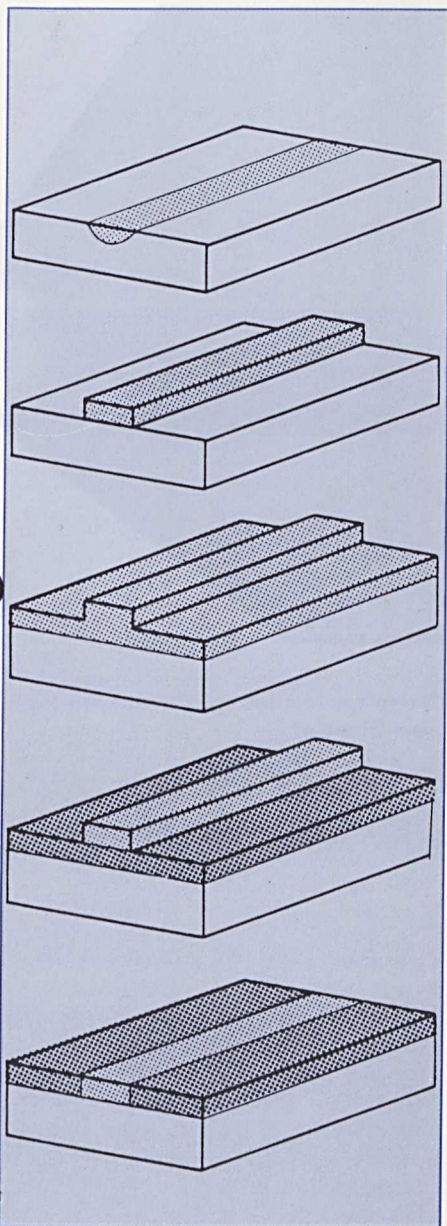
De meest eenvoudige component is de reeds besproken film. Als opnieuw de z -richting als voortplantingsrichting wordt gekozen, dan kan het licht uit een glasvezel in de film worden gekoppeld door de kopse kant van de vezel zodanig tegen de kopse kant van het OIC, het xy -vlak te plaatsen dat de vezelkern en de film op elkaar aansluiten. Het ingekoppelde licht zal dan in de film divergeren in de laterale richting. Om dit te voorkomen moet de brekingsindex in het verlengde van de vezelkern in de film worden verhoogd; er is dan een kanaalgolfgeleider, of strookgolfgeleider gemaakt.

Er bestaan diverse uitvoeringen van strookgolfgeleiders (figuur 5). Strookgolfgeleiders kunnen fungeren als verbindingen tussen verschillende componenten op eenzelfde substraat, of zij zijn een onderdeel van meer gecompliceerde componenten zoals richtkoppelingen of interferometers. Ook de strookgolfgeleiders kunnen een step-index profiel of een graded-index profiel hebben. Een graded-index profiel is vereist voor een goede vezel-chip koppeling bij een multimodusglasvezel, omdat dit type vezel doorgaans een graded-index kern heeft. Het is frappant dat, zelfs voor een eenvoudige strookgolfgeleider, het veel moeite kost om de voortplantingsconstanten nauwkeurig te bepalen, zeker als die nabij de afsnijfrequenties liggen.

Ridge waveguide, gemaakt met ionenbundel-etsers in gediffundeerde film (boven); ridge-breedte: 23 micron, ridge-hoogte: 1 micron; daaronder zijn achtereenvolgens de fundamentele, de eerste en de tweede-orde modus aangeslagen (verticaal steeds 1 intensiteitspiek, lateraal respectievelijk 1, 2 en 3) (compositiefoto).

De nauwkeurigheid van diverse benaderende fysisch-mathematische modellen is hierbij doorgaans erg ondoorzichtig. Toch zijn nauwkeurige benaderingen van belang, met name omdat de strookgolfgeleiders monomodus zijn en de bijbehorende k_z -waarde van de fundamentele modus niet veel van de afsnijfrequentie hoeft af te wijken. Bij een mathematische analyse blijkt dat de Maxwell-vergelijkingen niet meer kunnen worden ontkoppeld. Toch kunnen nog twee types van oplossingen worden onderscheiden, elk met zes componenten, namelijk de EH-modi en de HE-modi. Naarmate de breedte van de strookgolfgeleider toeneemt zullen de EH-modi steeds meer gaan lijken op de TM-modi en de HE-modi op de TE-modi.

Als strookgolfgeleiders van verschillende breedtes op elkaar moeten worden aangesloten dan kan dit gebeuren met tapers (taps toelopende strookgolfgeleiders). Tapers vinden ook toepassing bij vorken (of Y-junctions) die als vermogensspliters of multiplexers kunnen fungeren (figuur 6). Bochten bewerkstelligen laterale verplaatsingen, en zijn eveneens noodzakelijk bij verbindingen

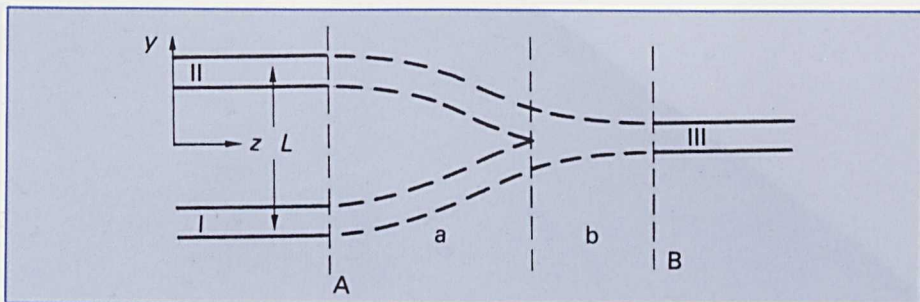


5. a Ingediffundeerde of geïmplanteerde golfgeleider.
 b 'Strip' golfgeleider.
 c 'Ridge' golfgeleider.
 d 'Strip loaded' golfgeleider.
 e 'Embedded' golfgeleider.

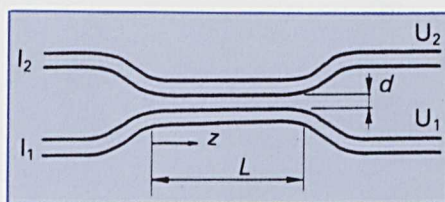
van verschillende componenten op één OIC. De kromtestralen van de bochten moeten helaas erg groot zijn, omdat anders te grote verliezen optreden; dit, en de vaak grote interactielengtes, beïnvloeden de potentiële pakingsdichtheid van een OIC nadelig.

Richtkoppelingen

De richtkoppeling is een voorbeeld van een component die meer complexe signaalm manipulaties kan uitvoeren. Hier wordt dieper ingegaan op de werking van de passieve richtkoppeling (figuur 7); deze component is te gebruiken als vermogensplitser of filter. Het hart van de koppeling wordt gevormd door twee evenwijdige, identieke strookgolfgeleiders; er zijn twee ingangspoorten I_1 en I_2 en



6. 'Y-junction', met tapersectie b.
 7. Directional coupler.



twee uitgangspoorten U_1 en U_2 (I en U duiden op de plaats van de poort of op het vermogen). De strookgolfgeleiders zijn monomodus, alleen de fundamentele modus kan in een enkele golfgeleider propageren met fasecoëfficiënt β . Als deze modus de koppeling bereikt via I_1 , slaat deze de modi aan die kunnen optreden in de golfgeleider die gevormd wordt door de twee parallelle strookgolfgeleiders met de tussenruimte d .

Deze configuratie is zo gedimensioneerd dat de fundamentele modus en de eerste orde modus zich hierin lateraal kunnen voortplanten, zeg met de fasecoëfficiënten β_0 en β_1 . Aan het begin van de koppeling zijn deze modi in fase; aangenomen is dat beide dezelfde amplitude hebben (figuur 8), zodat voor $z=0$ inderdaad de intensiteit is geconcentreerd in de onderste strookgolfgeleider. Doordat $\beta_0 > \beta_1$ zal met toenemende waarden van z het licht overleken naar de bovenste geleider; indien $\pi = L \cdot (\beta_0 - \beta_1)$ zal gelden dat $U_2 = I_1$ en $U_1 = 0$. Aangezien β_0 en β_1 beide functies zijn van de golflengte van het gebruikte licht, is ook L (de koppellingslengte voor 100% overdracht) een functie van de golflengte. Dit laatste maakt het mogelijk om de richtkoppeling (of een combinatie van richtkoppelingen) uit te voeren als een optische filter.

Overige passieve componenten

Zoals opgemerkt heeft in feite elke optische 'bulk-component' zijn pendant in geïntegreerd optische vorm. Helemaal waar is dat niet, omdat de geïntegreerde optica zich beperkt tot planaire componenten. Een aantal voorbeelden van reeds gemaakte passieve componenten zijn: planaire prisma's, lenzen, (deel)spiegels, TE-TM omzeters, allerlei periodieke structuren, polarisatoren, interferometers en isolatoren.

Actieve componenten

In tegenstelling tot de passieve componenten kunnen de actieve extern worden gestuurd. Dit gebeurt door op één of meer

plaatsen in de component de effectieve brekingsindex, en hiermee de effectieve lengte van karakteristieke afmetingen, te wijzigen. Zo veranderen bij de als actieve component uitgevoerde richtkoppeling (figuur 9), de effectieve lengte L en de afstand d tussen de evenwijdige strookgolfgeleiders door de spanningen over de aangebrachte elektrodes te variëren. Het overgekoppelde vermogen van de onderste naar de bovenste strookgolfgeleider is dan een functie van de spanningen, en dus van de tijd. De actieve richtkoppeling kan zo fungeren als modulator of als schakelaar.

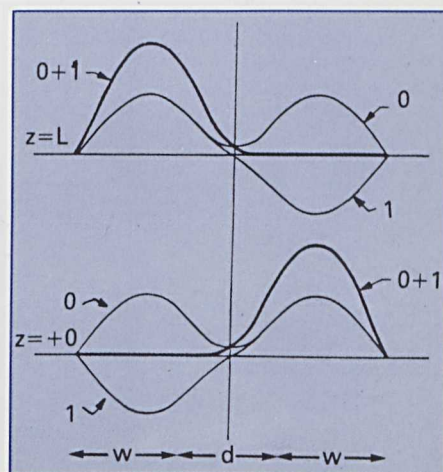
De verandering van de effectieve brekingsindex treedt op tengevolge van een elektro-optisch effect; dit kan uitsluitend bij een substraatmateriaal waarin de interactie van licht met een aangelegd elektrisch veld niet te verwaarlozen is. De elektro-optische interactie treedt ook op in de halfgeleiderlasers, waarvan het vermogen wordt gestuurd door de injectiestroom. Andere mogelijkheden om de effectieve brekingsindex te beïnvloeden zijn de akoesto-optische, magneto-optische en opto-optische interacties.

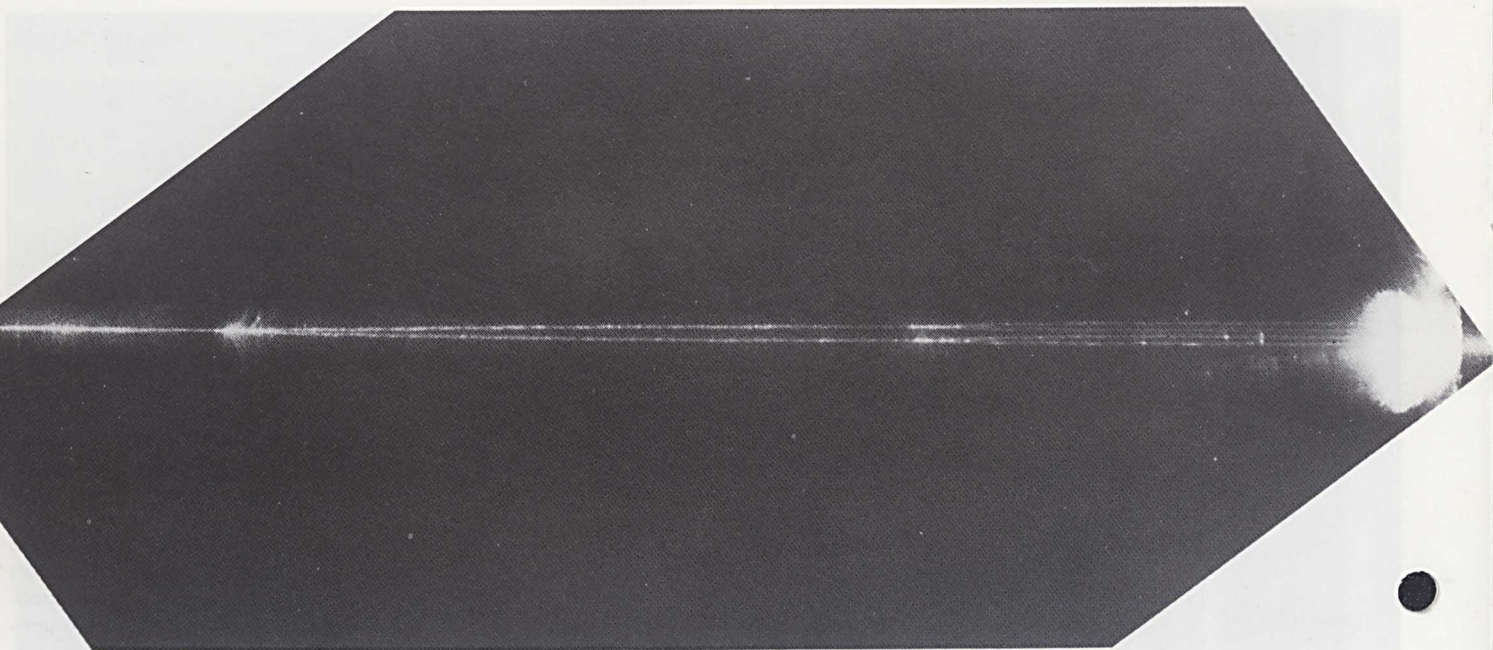
In figuur 10 is een opto-optische interferometer afgebeeld. De effectieve lengte van de onderste golfgeleider wordt geregeld met hoogvermogen stuurpulsjes. Deze interferometer is nu een 'Ultra fast all optical gate', een logische schakeling (XOR-poort).

Toepassingen

Behalve in de optische (tele)communicatie

8. Fundamentele modus 0 en eerste orde modus 1 in richtkoppeling voor $z=0$ en $z=L$; w is de breedte van de twee strookgolfgeleiders.





kunnen OIC's ook toegepast worden als sensoren. In combinatie met glasvezels en glasvezelsensoren zijn ze, omwille van een aantal aspecten zoals veiligheid en ongevoeligheid voor elektromagnetische storingen, een aantrekkelijke optie voor diverse industrieën [3]. Zoals al opgemerkt kunnen OIC's worden uitgevoerd als logische schakelingen in niet-li-

neaire substraatmaterialen; deze componenten kunnen worden gebruikt bij een nieuwe realisatie van 'optical computing'.

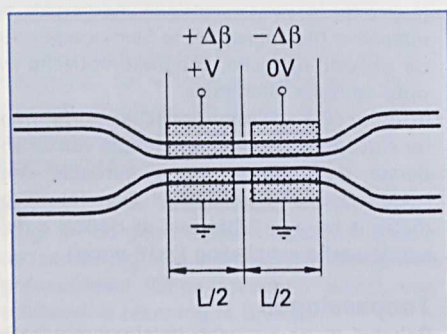
Viersplitser met een spoorbreedte van ongeveer 25 micron.

Conclusie en stand van zaken

De geïntegreerde optica is een nog jonge discipline (1969). Kennis uit een aantal andere vakgebieden is in de geïntegreerde optica verenigd. Voor de meer theoretische aspecten is kennis van (geometrische) optica en het elektromagnetische veld in diëlektrische materialen onontbeerlijk. Bij de technologie [4] spelen onder andere de volgende technieken een rol: diffusie, epitaxie, sputteren en fotolithografie.

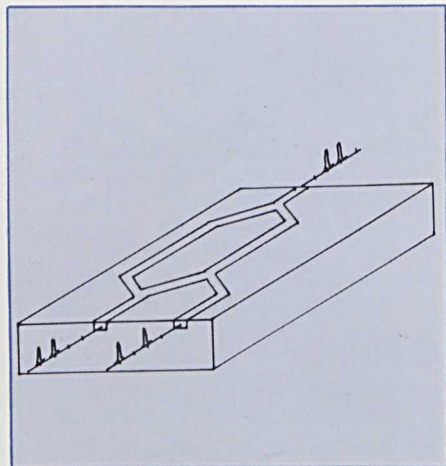
Tezamen kunnen deze vaardigheden optische microcircuits opleveren die in combinatie met glasvezels de sleutel vormen tot volledig optisch of opto-elektronische systemen. Op het Dr Neher Laboratorium van de PTT worden bij het geïntegreerde optica onderzoek de theoretische en technologische inspanningen nu gezamenlijk ingezet voor het realiseren van een richtkoppeling.

Momenteel zijn OIC's nog niet commercieel verkrijgbaar; wel bestaat er een grote verscheidenheid in de ontwikkelingsfase, en verschijnen er theoretische studies over specifieke, geavanceerde componenten (hoofdzakelijk uitgevoerd op basis van niet-lineaire substraten).



9. Reversed $\Delta\beta$ coupler.

10. Volledig optische interferometer uitgevoerd als XOR poort.



Literatuur

1. Halfgeleiderlasers in opmars; Pt/elektrotechniek/elektronica **39** (1984), nr. 4, p. 78.
2. Takanori Okoshi, Optical Fibers, Acad. Press 1982, p. 78.
3. Pitt, G.D., De optische vezel als sensor; Pt/elektrotechniek/elektronica **40** (1985), nr. 1, p. 34. Nederlands Tijdschrift voor FOTONICA, 1985 nr. 1.

