

## Realisatie van een coherente optische zender/ontvanger : een samenwerking tussen PTT-research en de TU-Delft

**Citation for published version (APA):**

Brug, van, H., Uitterdijk, T., Groen, F. H., Frankena, H. J., Smit, M. K., Oei, Y. S., Amersfoort, M. R., Soldano, L. B., Verbeek, B. H., Tol, van der, J. J. G. M., Pedersen, J. W., & Metaal, E. G. (1993). Realisatie van een coherente optische zender/ontvanger : een samenwerking tussen PTT-research en de TU-Delft. *Nederlands Tijdschrift voor Fotonica*, 19(6), 15-24.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1993

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Realisatie van een coherente optische zender/ontvanger een samenwerking tussen PTT-Research en de TU-Delft

*H. van Brug, T. Uitterdijk, F. H. Groen, H. J. Frankena  
T.U. Delft, Faculteit der Technische Natuurkunde, Vakgroep Optica  
Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft, Nederland*

*M. K. Smit, Y.-S. Oei, M. R. Amersfoort, L. B. Soldano, B. H. Verbeek  
T.U. Delft, Faculteit der Elektrotechniek, Vakgroep TTT  
Mekelweg 4, 2628 CD Delft, Nederland*

*J. J. G. M. v. d. Tol, J. W. Pedersen, E. G. Metaal  
Koninklijke PTT Nederland N.V., PTT Research  
St. Paulusstraat 4, 2264 XZ Leidschendam, Nederland*

Een geïntegreerd optische uitvoering van een coherent optische zender/ontvanger vergt de ontwikkeling van een aantal zeer verschillende componenten. Figuur 2 in Labrujere's bijdrage laat zien dat behalve passieve componenten (rechte golfgeleider, gebogen golfgeleider, richtingskoppelaar, polarisatie-splitser, passieve polarisatie-omzetter) ook elektro-optische (actieve polarisatie-omzetter, schakelaar) en opto-elektronische (laser, detector) componenten nodig zijn. Ten einde de gespecialiseerde kennis en de gecompliceerde technologie voor de realisatie hiervan op te bouwen, zijn de vakgroepen Optica (OP) en Telecommunicatie en Tele-observatie technologie (TTT) van de TU-Delft een samenwerkingsverband aangegaan met PTT Research. Binnen deze samenwerking zijn al diverse componenten met goede specificaties gerealiseerd. De voor het hier gepresenteerde IOP van belang zijnde componenten zullen toegelicht worden.

In het kader van het project wordt de haalbaarheid van verschillende uitvoeringsvormen van de optische ontvanger onderzocht, waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt wordt van dezelfde technologische processen. PTT Research zal de splitsele-

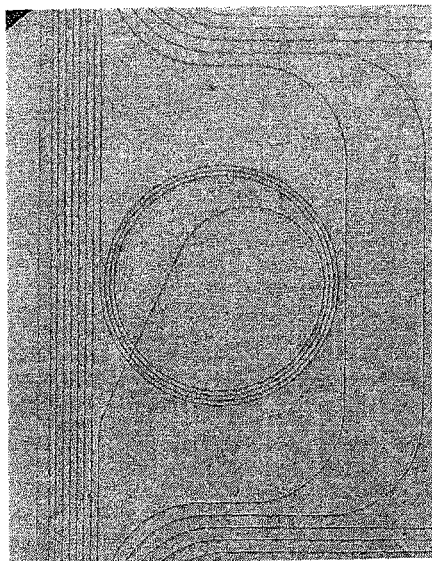
menten realiseren met behulp van adiabatische componenten en de polarisatie-omzetter gebaseerd op een passieve blokkenstructuur. TU-Delft baseert de koppelaars en polarisatie-splitsters op een nieuw type koppelaar, de Multi-Mode Interference (MMI-) koppelaar en werkt aan een actieve polarisatie-omzetter, waarbij gebruik gemaakt wordt van het elektro-optische effect. Ook wordt 'gewerkt aan schakelaars en detectoren.

In het volgende zal eerst de technologie toegelicht worden, gevolgd door een beschrijving van de verschillende ontwikkelde componenten.

## Technologie

Voor de realisatie van de verschillende componenten in het InP/InGaAsP halfgeleider materiaal is de beschikbaarheid van een fabricage faciliteit essentieel. Binnen de TU-Delft is door de Faculteit der Elektrotechniek en Faculteit der Technische Natuurkunde een gemeenschappelijk stofarm laboratorium in de nabijheid van DIMES ingericht, speciaal toegerust voor de InP technologie. Al de processtappen kunnen hier binnen één ruimte uitgevoerd worden. De procestecnologische ontwikkelingen

worden verricht in nauwe samenwerking met PTT-Research. Voor de realisatie van golfgeleider-componenten is bij PTT Research een parallele technologische faciliteit opgebouwd, waar ook een complementaire technologie ontwikkeld wordt, zoals SiO<sub>2</sub> etsen en dubbelmaskering. Deze faciliteit bevindt zich in een stofarme ruimte (klasse 100) en omvat o.a. schoonmaakprocessen, fotolithografische processen, een reactieve ionen etser (RIE), een plasma-stripper, etc.. Zowel binnen DIMES, als bij groepen van de Faculteit der Natuurkunde, bij Laboratorium voor Metaalkunde, en bij PTT-Research is er karakterisatie apparatuur (SEM, staphoogtemeter, microscopen) aanwezig. Naast deze procestecnologische karakterisatie apparatuur zijn er ook diverse opstellingen aanwezig om de componenten optisch en elektrisch te karakteriseren. Er zijn processen ontwikkeld op het gebied van epitaxie, lithografie, etsen, diffusie en metallisatie.



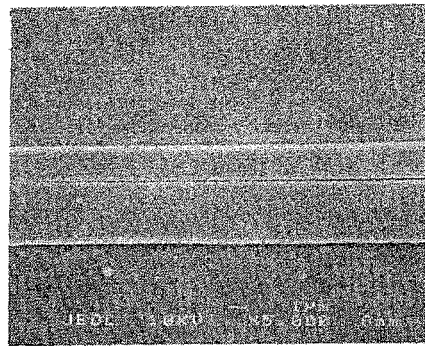
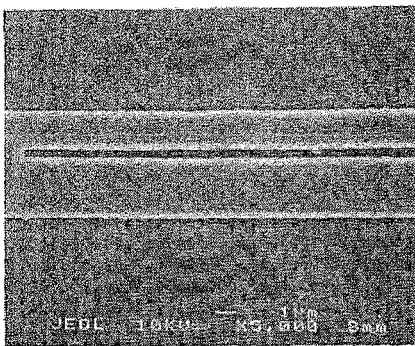
Figuur 1:  
Microscopopname van een 12 mm lange optische delay line die is opgerold op een oppervlak van 1 mm<sup>2</sup>.

Daarbij wordt veel aandacht besteed aan het fabriceren van golfgeleiders met lage optische verliezen. Figuur 1 toont een microscoopopname van een in Delft gefabriceerde 12 mm lange optische delay-line die is opgerold op een oppervlak van slechts 1 mm<sup>2</sup>. Dergelijke structuren kunnen momenteel met optische verliezen kleiner dan 2 dB worden gerealiseerd.

De InP/InGaAsP lagenstructuren waarin de componenten worden gerealiseerd, worden bij de Universiteit van Gent met behulp van MO-VPE (Metal Organic Vapour Phase Epitaxy) gegroeid op 2inch substraten. De componenten worden op onderdelen van deze plakken gefabriceerd.

Voor het fabriceren van de microstructuren zijn hoogwaardige optische lithografische processen ontwikkeld. Momenteel is het mogelijk standaard rechte en gebogen structuren tot een dwarsafmeting van 2 µm te reproduceren. Golfgeleiders met afmetingen tot 1 µm voor miniaturisatie van optische componenten zijn gedemonstreerd. Lithografie van nog fijnere structuren door middel van direct schrijven met een elektronen bundel is in ontwikkeling in samenwerking met DIMES. Bij PTT Research is een onderzoek verricht naar een zogenaamde dubbelmaskering. Met behulp van deze techniek zijn scherpe punten, die ontstaan in het geval dat twee golfgeleiders onder een kleine hoek bij elkaar komen, zoals bij een Y-splitsing, beter te definiëren. In deze dubbelmaskeringstechniek worden de twee takken van de junctie in twee aparte, elkaar overlappende, maskerpatronen gedefinieerd, één patroon in fotolak en een ander in SiO<sub>2</sub>. Hierdoor wordt de afstomping vermeden en ontstaan splitspunten van zeer hoge kwaliteit (zie Fig.2).

De structuren worden overgebracht in het substraat door ets technieken. Er zijn nat-chemische processen ontwikkeld die het voordeel hebben dat ze materiaalselectief zijn. De nadelen van deze techniek zijn



Figuur 2: Splitpunten in asymmetrische Y-splitsingen met a) enkelmaskering en b) dubbelmaskering.

enerzijds de onderets verschijnselen die niet goed zijn voor het behoud van afmetingen en anderzijds de afhankelijkheid van de kristalorientatie. De golfgeleider structuren worden daarom met een droge ets techniek (Reactive Ion Etching, RIE) gemaakt. De processtappen zijn in combinatie met nieuwe maskeringstechnieken zodanig geoptimaliseerd, dat wij momenteel golfgeleiders fabriceren met de laagst gerapporteerde verliezen (0.5dB/cm voor TE gepolariseerd licht).

Voor de fabricage van elektro-optische en elektronische componenten worden metaal structuren gedeponeerd m.b.v. opdampstechniek. Een lage weerstand van de contacten wordt verkregen door een thermische behandeling in een RTP (Rapid Thermal Processor).

Voor sommige componenten is een overgang vereist. Deze kan verkregen worden door lokaal zink (Zn) te diffunderen. Hiertoe wordt via een lithografisch proces een masker op de plak aangebracht waar door de aanwezige openingen heen Zn gediffundeerd wordt. De substantie waar vanuit gediffundeerd wordt is SOG (Spin On Glass). Dit is een vloeibare substantie die door op te spinnen op de plak aangebracht wordt en die een hoge concentratie van, in ons geval, Zn bevat. Om te diffunderen

wordt het plakje met diffusie masker en SOG in de RTP geplaatst en gedurende een bepaalde tijd op een temperatuur van ca.500°C gebracht. Veel onderzoek is verricht naar de optimale tijd en temperatuur. Momenteel zijn we in staat om een goed gedefinieerde diffusie uit te voeren, waarbij de diffusie diepte en concentratie van het Zn goed in de hand te houden zijn. Als diffusie masker wordt een SiO<sub>2</sub> laag gebruikt. Deze wordt thans door sputteren opgebracht maar in de nabije toekomst zal daar een PE-CVD (plasma-enhanced chemical vapour deposition) proces voor gebruikt worden.

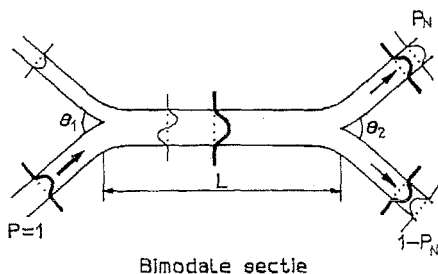
Vrijwel alle componenten zijn gebaseerd op optische golfgeleiders. De toegepaste golfgeleiders zijn van een eenvoudig type: op een InGaAsP-laag, aangebracht op een InP substraat, bevindt zich een deklaag van InP waarin een dijk geëtsd wordt. Dergelijke golfgeleiders kunnen een lage propagatie-demping hebben. Hieronder volgt een beschrijving van enkele gerealiseerde componenten.

### Adiabatische componenten (PTT-Research)

Golven planten zich in de golfgeleiders voort in de vorm van modi; dit zijn trillingstoestanden van het elektromagnetische veld. Een modus kan zich ongestoord

voortplanten in rechte golfgeleiders; in alle andere structuren treedt modus-koppeling op. Bij elke verstoring van de golfgeleider verdeelt het vermogen in een modus zich over alle mogelijke modi. Bij adiabatische propagatie wordt nu getracht de verstoringen in de componenten zo klein te maken, dat deze koppelingen naar andere modi verwaarloosbaar worden. Met andere woorden, een bepaalde modus, gekarakteriseerd door zijn modus-nummer, behoudt dat modus-nummer door de gehele component. Er zijn twee typen modi te onderscheiden. Stelt u zich bijvoorbeeld twee golfgeleiders voor, parallel maar op grote afstand van elkaar. Een modus die in een van deze golfgeleiders propageert merkt de aanwezigheid van de andere golfgeleider niet en kan dus als een modus van een enkel kanaal beschouwd worden: een kanaalmodus. Indien de golfgeleiders dichterbij elkaar liggen, dan kunnen deze als een golfgeleidend systeem opgevat worden; in dat geval wordt de modus een systeemmodus. Dit maakt verschil wanneer we de twee golfgeleiders van elkaar laten verschillen, b.v. in breedte. Een modus in het smalste kanaal is dan een gewone nulde-orde kanaalmodus. In het systeem is dezelfde modus echter een eerste-orde modus! (De modus in het systeem met de hoogste propagatie-constante is de nulde-orde modus, en die komt overeen met de modus in het brede kanaal.) Als de twee golfgeleiders nu een Y-splitsing vormen met een zo kleine hoek dat adiabatische propagatie optreedt, blijft het modusnummer van de systeemmodus behouden. Een nulde-orde kanaalmodus in de smalle golfgeleider propageert dus als eerste orde systeemmodus door de Y-splitsing en zal als eerste-orde modus de Y-splitsing verlaten. De Y-splitsing werkt dus als modus-omzetter. Een modus die in de brede golfgeleider propageert zal de Y-splitsing daarentegen als nulde orde verlaten. De Y-splitsing is dus ook een modus-filter; men kan afhankelijk van de ingangsgolfgeleider een nulde- of een eerste-orde modus creëren. De kracht van dit principe is het feit dat

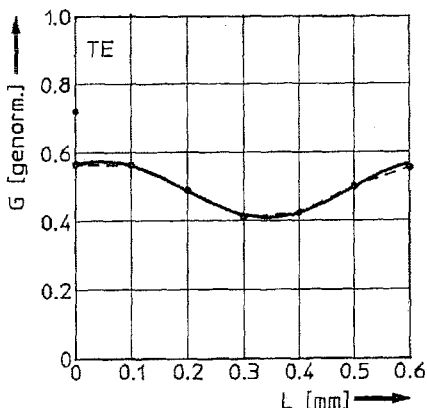
de werking op symmetrie-breking gebaseerd is. Dit houdt in dat deze asymmetrische Y-splitsing zo gemaakt kan worden dat de werking onafhankelijk wordt van de golflengte, de polarisatie of van de exacte dimensies van de golfgeleiders. Deze eigenschappen worden gebruikt in het mengelement (ook wel 3dB-koppelaar of 50/50 koppelaar genoemd) zoals vervaardigd bij PTT-Research. Deze bestaat uit een combinatie van een symmetrische en een asymmetrische Y-splitsing, welke via hun 'stammen' en een bimodale sectie verbonden zijn (zie Fig.3). Via een van de



Figuur 3:  
De modus-evolutie 50/50 koppelaar.

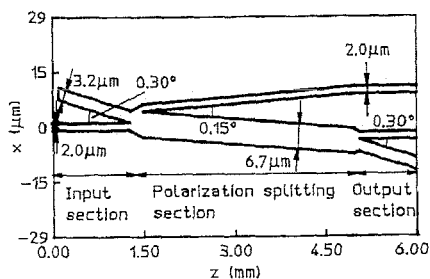
takken van de asymmetrische Y-splitsing wordt 'f de nulde-', 'f de eerste-orde modus in de bimodale sectie aangeslagen. Deze modus verdeelt zich gelijkmatig over de beide uitgangen van de symmetrische Y-splitsing. Door nu de twee te mengen signalen in de twee takken van de asymmetrische Y-splitsing in te koppelen worden aan de uitgangen twee mengsignalen verkregen, welke overigens wel in tegenfase met elkaar zijn. (Dit laatste maakt gebalanceerde detectie mogelijk.) De voordelen van deze koppelaar zijn vooral de bovengenoemde onafhankelijkheden. Wij hebben deze componenten gerealiseerd met een lengte van 3.5 mm, waarvan het grootste deel voor de asymmetrische Y-splitsing nodig is. Dit is vooral een gevolg van de kleine hoek (0.3 graden) die voor adiabatische propagatie vereist is. Door de lengte van

de bimodale sectie te variëren is het mogelijk de kwaliteit van de Y-splitsingen te bepalen. In Fig.4 is een restant van interferentie tussen twee modi zichtbaar; de splitsverhouding van de asymmetrische Y-splitsing blijkt 99/1 te zijn (d.w.z. dat een procent van het vermogen in de onbedoelde modus terecht komt). Deze lengte kan verbeterd worden door de splitspunt in de junctie beter te maken; de afstomping die optreedt in het fotolithografisch proces belemmert namelijk de adiabatische propagatie enigszins. Om dit probleem op te lossen is de dubbelmaskeringstechniek ontwikkeld.



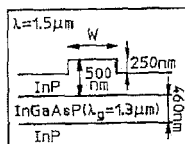
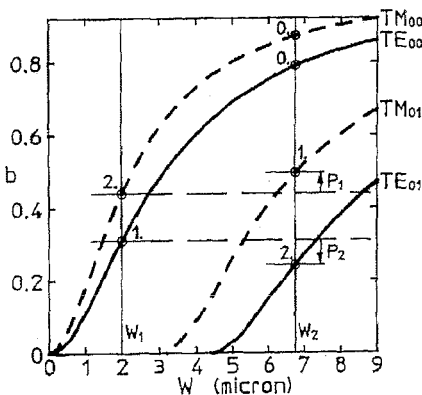
Figuur 4: Vermogensfractie uit een tak van de 50/50 koppelaar, als functie van de lengte van de bimodale sectie.

rentie tussen twee modi zichtbaar; de splitsverhouding van de asymmetrische Y-splitsing blijkt 99/1 te zijn (d.w.z. dat een procent van het vermogen in de onbedoelde modus terecht komt). Deze lengte kan verbeterd worden door de splitspunt in de junctie beter te maken; de afstomping die optreedt in het fotolithografisch proces belemmert namelijk de adiabatische propagatie enigszins. Om dit probleem op te lossen is de dubbelmaskeringstechniek ontwikkeld.



Figuur 5: De modus-evolutie polarisatie-splitser.

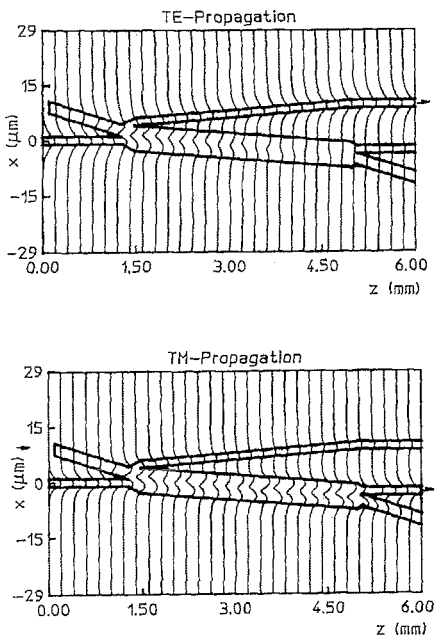
De polarisatie-splitser maakt ook gebruik van het modus-evolutie principe. Deze component bestaat uit een aaneenschakeling van drie asymmetrische Y-splitsingen (zie Fig. 5). De eerste daarvan doet dienst als modus-omzetter: het licht wordt via de smalle golfgeleider genjecteerd en zal als eerste-orde modus de volgende sectie bereiken. In deze tweede sectie vindt de eigenlijke polarisatie-splitsing plaats. In Fig.6 is een dispersie-diagram gegeven om



Figuur 6: Dispersie-diagram voor de twee takken van de polarisatie-scheidende Y-splitsing. (De genormaliseerde propagatie-constante is aangegeven met 'b'.) De pijlen geven de relevante verschillen aan in de propagatie-constanten.

deze splitsing te illustreren. De Y-splitsing in de polarisatie-splitsende sectie is opgebouwd uit een smalle monomodale en een brede bimodale golfgeleider. Deze laatste is zo gekozen dat de eerste-orde kanaalmodus voor de TM-polarisatie een hogere propagatie-constante heeft dan de TM-modus in de smalle golfgeleider. Als systeemmodus heeft deze eerste-orde TM-modus daarom een lager modusnummer; het is

de eerste-orde systeemmodus. Voor de andere polarisatie, TE, is de propagatieconstante van de modus in de smalle golfgeleider juist hoger, zodat nu deze met de eerste-orde systeemmodus overeenkomt. (De hoogste propagatieconstante, en dus de nulde-orde systeemmodus, komt overeen met de nulde-orde kanaalmodus van de brede golfgeleider.) Als nu weer de splitshoek voldoende klein (0.15 graad) is voor adiabatische propagatie, propageert de via het ingangs-modusfilter aangebooden eerste-orde modus voor de TE-polarisatie naar de smalle golfgeleider. Voor de TM propageert deze modus naar de eerste-orde kanaalmodus van de bimodale golfgeleider. De Y-splitsing in de uitgangsectie tenslotte zet deze eerste-orde TM modus weer om in een nulde-orde kanaalmodus. Simulaties met een van de UT afkomstig BPM-programma illustreren de werking van de polarisatie-splitser (Fig.7).

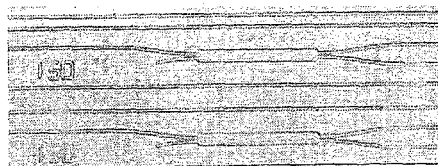


Figuur 7: BPM-simulaties van de polarisatie-splitser: a) TE-polarisatie en b) TM-polarisatie.

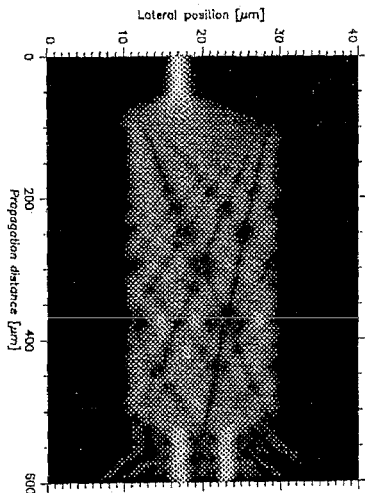
Er is bij PTT-Research een aantal van deze componenten gerealiseerd, met een lengte van 6 mm. De splitsverhoudingen variëren van -10 tot -20 dB, waarbij de beste splitting voor beide polarisatie toestanden tegelijk -14 dB is. Een extra voordeel van deze component, naast de relatieve ongevoeligheid voor golflengte en dimensies, is de zeer lage demping: Vanwege de kleine hoeken is het verlies minder dan 1 dB voor zowel TE als TM. Deze component is recentelijk op de ECOC-93 (European Conference on Optical Communication) gepresenteerd.

### MMI-koppelaars (TTT)

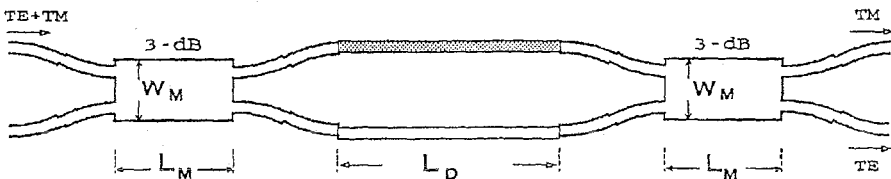
Figuur 8 toont de intensiteitsverdeling van



Figuur 8a: Microscopie opname van enkele MMI 3-dB koppelaars. De MMI-secties zijn ruim 150  $\mu\text{m}$  lang en 14  $\mu\text{m}$  breed.



Figuur 8b: Het intensiteitspatroon in de MMI-sectie van een 3-dB koppelaar (simulatie).



Figuur 9:

Structuur van een polarisatiesplitser gebaseerd op een Mach-Zehnder Interferometer met MMI 3-dB-koppelaars. De gearceerde golfgeleider is voorzien van een metaallaag.

het licht in een 3-dB koppelaar gebaseerd op het MMI-principe. Deze koppelaar bestaat uit een brede multimode golfgeleider met twee (monomode) ingangsgolfgeleiders en twee monomode uitgangsgolfgeleiders. Het wilde intensiteitspatroon in de brede sectie wordt veroorzaakt door interferentie van de modi die aan de ingang van de koppelaar worden aangestoten (vandaar de naam Multi-Mode Interference Coupler). Uit de figuur is zichtbaar dat, als we licht inkoppelen vanuit  $n$  ingangsgolfgeleider er aan het eind van de sectie een dubbele afbeelding van het veld aan de ingang ontstaat, waardoor deze component als 3-dB koppelaar te gebruiken is. Uit theoretisch en experimenteel onderzoek is gebleken dat koppelaars gebaseerd op dit principe zeer goede optische eigenschappen combineren met een goede fabricagetolerantie en kleine afmetingen. De lengte is typisch in de orde van 100-500  $\mu\text{m}$ , de verliezen zijn in de orde van 0.5 dB en de asymmetrie van beide uitgangen is kleiner dan 0.2 dB.

Door zijn gunstige eigenschappen wint de MMI-koppelaar snel aan populariteit. Hoewel het concept van dit type koppelaar reeds 18 jaar geleden is gepubliceerd hebben de activiteiten van de TU Delft tot een doorbraak op dit gebied geleid. In de afgelopen twee jaar is succesvolle realisatie van een phase-diversity network en een optische ontvanger (Bellcore), power-splitters (TU-Delft, Defence Research Agency UK), optische schakelaars (AT&T Bell Labs, ETH-Zürich) en een ringlaser (Philips

Optoelectronics Centre) gebaseerd op het MMI-principe gerapporteerd.

### Polarisatiesplitters (TTT)

Recent is door de TU Delft een polarisatiesplitser ontwikkeld gebaseerd op een Mach-Zehnder Interferometer die met MMI-koppelaars is gerealiseerd. Het principe van deze koppelaar is geschetst in figuur 9. In de eerste MMI-koppelaar verdeelt het licht zich gelijk over beide uitgangen, maar met een onderling faseverschil van 90 graden. In de tweede MMI-sectie gaat het koppelproces verder, zodanig dat aan het eind al het vermogen in de onderste uitgang terecht komt. Door nu in één van de twee middelste golfgeleiders 180 graden fase draaiing te introduceren vindt het koppelproces in de tweede koppelaar in de andere richting plaats en komt al het vermogen in de bovenste uitgang terecht. Dit principe is met succes toegepast voor optische schakelaars, waarbij de fase draaiing met behulp van een elektro-optisch effect wordt opgewekt. Voor de polarisatiesplitser wordt hetzelfde principe gebruikt door een polarisatieafhankelijke fase draaiing te introduceren. Dit kan door één van de golfgeleiders van de interferometer van een metaallaag te voorzien. Deze heeft een (verlagend) effect op de brekingsindex, dit effect is voor TM-gepolariseerd licht echter veel groter dan voor TE-gepolariseerd licht. Bij een geschikte keuze van de lengte en de structuur van de golfgeleiders geven deze voor TE-polarisatie een verwaarloosbaar faseverschil, ter-



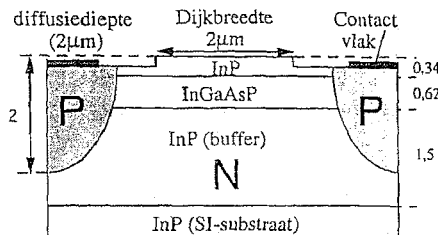
wijl ze voor TM-polarisatie de gewenste 180 graden fasedraaiing introduceren. Koppelen we licht met een willekeurige polarisatietoestand in de bovenste ingang van de polarisatiesplitser, dan zal het TE-gepolariseerde deel in de onderste golfgeleider terechtkomen en het TM-gepolariseerde deel in de bovenste. Door de TU Delft is onlangs een dergelijke polarisatiesplitser gerealiseerd met een lengte van 2.5 mm, 1.4 dB verlies voor beide polarisatie toestanden en 17 dB onderdrukking van de ongewenste polarisatie in beide uitgangen.

### Elektro-optische componenten in InGaAsP (Optica)

Met behulp van het Electro-Optisch effect kan de polarisatie toestand en/of de fase van het licht in een golfgeleider aangepast worden. InP en InGaAsP zijn van zichzelf isotrope materialen hetgeen wil zeggen dat er geen richtingsafhankelijkheid is van de brekingsindex. Door nu in dit materiaal golfgeleiders te etsen ontstaat een dubbele breking, hetgeen ertoe leidt dat TE en TM modi zich met verschillende snelheden propageren. De isotropie van het materiaal maakt dat er geen spontane omzetting van TE naar TM plaatsvindt in een rechte golfgeleider. Om deze omzetting te verkrijgen moet dan wel de structuur van de golfgeleider aangepast worden, dan wel de isotropie van het materiaal opgeheven worden. Deze laatste methode wordt toegepast. Met behulp van het elektro-optische effect kan, op plaatsen binnen het golfgeleidende gebied waar een extern elektrostatisch veld aangelegd wordt, de brekingsindex aangepast worden. Deze aanpassing is richtingsafhankelijk. In het nu volgende veronderstellen we de propagatie in de z-richting. De x-richting is loodrecht op de plak en de y-richting loodrecht op de x- en z-richting. Door een elektrostatisch veld in de x-richting, kan de fase beïnvloed worden, en met een veld in de y-richting kan de polarisatie richting veranderd worden. Doordat het gegroeide InP/InGaAsP geheel n-type is, moet lokaal Zn gediffun-

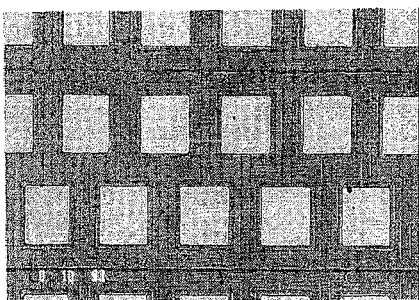
deerd worden om een diode te verkrijgen die, mits in serie aangesloten, het statisch elektrisch veld oplevert. Voor een fase verschuiver moet de top van de golfgeleider dijk p-type zijn, hetgeen de mogelijkheid geeft tot het aanleggen van een statisch veld in de x-richting.

In Fig.10 is een dwarsdoorsnede gegeven



Figuur 10: Dwarsdoorsnede van de polarisatie omzetter.

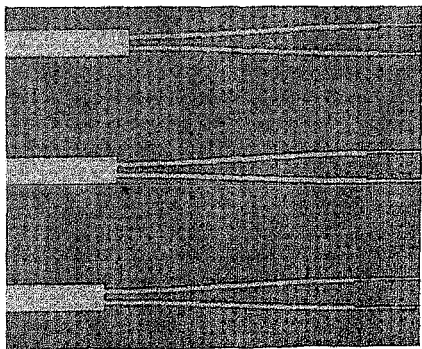
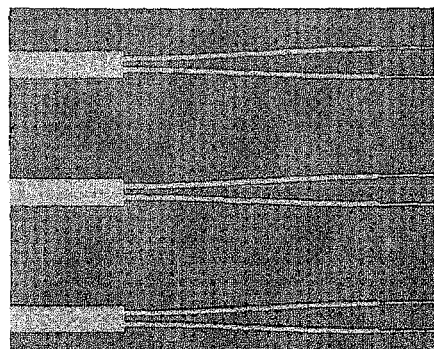
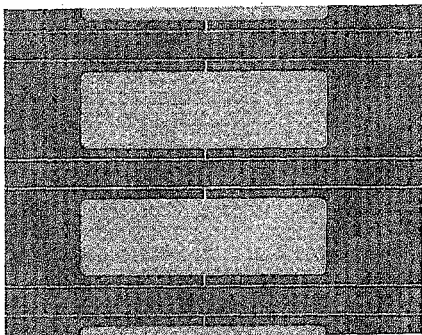
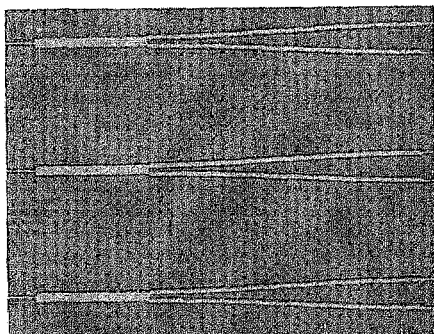
van de structuur van een polarisatie omzetter. Indien nu op een positie  $z = z_0$  een omzetting plaatsvindt van een TE modus, naar een TM modus, dan zullen de twee modi op die plaats in fase zijn. Na propagatie over een bepaalde afstand, de zogenaamde beatlengte, zullen de modi in tegenfase zijn, faseverschil gelijk aan  $\pi$  (tengevolge van de dubbele breking van de structuur). Indien nu weer een omzetting zal plaatsvinden zal de nieuwe TM component in tegenfase zijn met de voorheen omgezette. Door de richting van het elektrostatische veld om te polen kan toch een positieve interferentie tussen de twee bijdragen plaats vinden. Dit resulteert in een gesegmenteerde structuur, zie Fig.11a voor een bovenaanzicht. Omdat de beatlengte van de structuur niet exact bekend is wordt er een verdere segmentatie toegepast om door combinatie van segmenten de som-afmeting aan te passen aan de beatlengte. De segmenten bestaan uit gebieden waar Zn gediffundeerd is in de structuur en die dus p gedoteerd zijn. Om de segmenten onafhankelijk te kunnen aansturen moeten de gebieden tussen de segmenten n-type blijven.



Figuur 11a:  
 Microscopie opname van de gesegmenteerde omzetter. De lange strepen zijn de golfgeleiders (2µm breedte). De verbindende structuren zijn de Zn-gediffundeerde gebieden met daarop rechthoekige contact vlakken (50x60µm) waarop de bonddraden bevestigd worden.

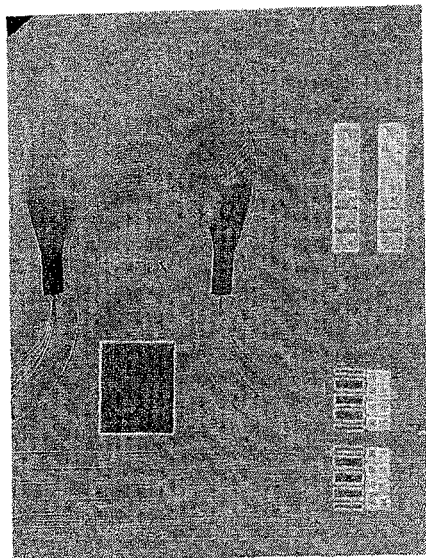
Aan een gefabriceerde omzetter is een beatlengte gemeten van ca. 170µm. De berekende beatlengte bedroeg 200µm hetgeen de noodzaak van de segmentatie duidelijk maakt. De verschillen worden toegeschreven aan onnauwkeurigheden in de breedte van de vervaardigde golfgeleiders.

De gerealiseerde omzetting bedroeg 1 graad per segment van 50µm bij een spanning van 30V. Het doel dat nagestreefd wordt t.b.v. de optische ontvanger is een omzetting van 45 graden. Rekening houdend met tussenafstanden tussen de segmenten en niet perfect in fase werkende



Figuur 11b:  
 Elektro-optisch schakelement. V.l.n.r. splitsjer (1x2), top elektroden met overgangen, MMI-3dB koppelaar (2x2) met aansluit bochten.

segmenten komen we tot een minimale component lengte van 3mm. Het huidige onderzoek spitst zich toe op de fasedraaiër. Hiertoe is een statisch elektrisch veld in de x-richting nodig. Een eerste versie resulteerde in een fase draaiing van 18 graden/(Volt mm). Als de fasedraaiër goed functioneert kan deze gebruikt worden als schakelelement door deze op te nemen in een Mach Zehnder interferometer. De lay-out is dezelfde als die in Fig 7, met als enig verschil dat op een van de armen een fasedraaiër aangebracht is. (In Fig. 11b is een detail van de gerealiseerde structuur te zien.) Door de fase te regelen is de uitgangsarmlen te kiezen.



Figuur 12: Microscopopname van een vierkanaals golflengtedemultiplexer met geïntegreerde detectoren. De array met gebogen golfgeleiders zorgt ervoor dat de verschillende golflengtes naar de verschillende uitgangsgolfgeleiders worden gekoppeld. De lichte rechthoekjes rechtsonder op de foto zijn de p-contacten van de detectors, de absorberende laag bevindt zich daaronder.

### Detectoren (TTT)

Detectoren worden gerealiseerd door op de golfgeleider lokaal een optisch absorberende laag aan te brengen. Het licht koppelt vanuit de golfgeleidende laag naar deze absorberende laag, waar het omgezet wordt in gaten en electronen. Wanneer de absorberende laag is opgesloten tussen een n-type en een p-type gedoteerde laag die van metaalcontacten zijn voorzien, zullen de gegenereerde ladingsdragers via deze contacten een fotostroom veroorzaken. Figuur 12 toont een foto van een in Delft gerealiseerde golflengtedemultiplexer met geïntegreerde detectoren, die onlangs (september '93) op de ECOC-93 gepresenteerd is.

### Conclusies

Door ondersteuning vanuit het IOP en door de nauwe samenwerking tussen de drie groepen zijn een adequate technologie en een gemeenschappelijke kennisbasis ontwikkeld die het mogelijk maken om component onderzoek te doen op internationaal niveau.

### Dankwoord

De auteurs danken de technici die dit onderzoek mogelijk hebben gemaakt A. J. van der Lingen, A. Looyen, A. Kuntze, T. L. M. Scholtes, C. de Boer, A. de Vreede, J. van Uffelen en F. van Ham.