

Geïntegreerde optische componenten op indiumfosfide

Resultaten van KPN Research

J.J.G.M. van der Tol, J.W. Pedersen en E.G. Metaal

Vanaf 1990 tot 1997 heeft bij KPN Research een onderzoeksproject plaatsgevonden op het gebied van geïntegreerde optische circuits op basis van het halfgeleidermateriaal indiumfosfide (InP). Dit onderzoek is in nauwe samenwerking met de vakgroepen "Optica" en "TTT" van de Technische Universiteit Delft uitgevoerd. Het project bij KPN concentreerde zich op passieve componenten, zoals mengelementen, splitters, koppelaars, polarisatiesplitters en polarisatie-omzetters. In dit artikel worden de door KPN Research gerealiseerde componenten kort gepresenteerd. Er zal alleen ingegaan worden op de belangrijkste kenmerken, zoals propagatiedemping (altijd van belang), polarisatiesplitsing, balans (zeer belangrijk in mengelementen), polarisatie-omzetting, golf lengte-afhankelijkheid, lengte van de component en eventuele opmerkingen over voor- of nadelen van desbetreffende component.

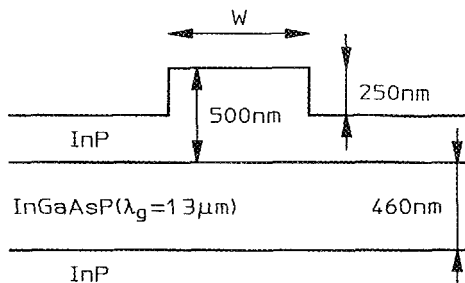
Rechte golfgeleiders

Figuur 1 bevat de dwarsdoorsnede van de golfgeleiderstructuur, die bij de gerealiseerde componenten gebruikt is. Het is een zgn. dijk golfgeleider ("ridge waveguide"), die door etsen met reactieve ionen gemaakt wordt.

De resultaten behaald met rechte golfgeleiders zijn:

- propagatie demping: 0.5 dB/cm voor TE-polarisatie en 1 dB/cm voor TM-polarisatie

Dit is vergelijkbaar met de beste resultaten

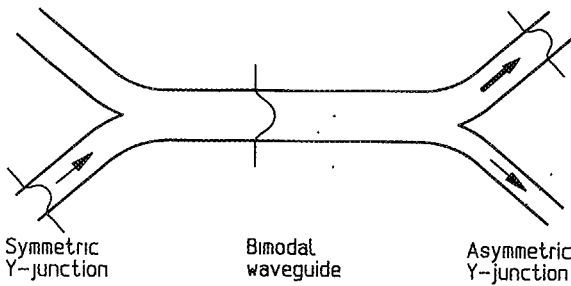


Figuur 1
Golfgeleider dwarsdoorsnede

internationaal. Dit geeft aan dat het door KPN Research ontwikkelde fabricageproces goed is.

3dB-splitters

De 3dB-splitters (zie fig 2) worden gebruikt voor het splitsen van een licht signaal in twee delen met even veel vermogen in elke signaalpad aan de uitgang. Deze component dient b.v. als mengelement van twee optische signalen in een coherente optische ontvanger. De component is gebaseerd op het modusevolutie-principe, waarbij gebruik gemaakt wordt van de (adiabatische) veranderingen in het veld van een geleide modus in structuren waarin alleen geleidelijke veranderingen optreden. Dit effect zorgt voor tolerante componenten. De 3dB-splitters zijn gemaakt in twee varianten: met het etsmasker in een enkele lithografische stap gedefinieerd (enkelmaskering) en met een definitie in twee stappen (dubbelmaskering), waarmee zeer scherpe splitspunten te verkrijgen zijn.



Figuur 2:
Bovenaanzicht van de modusevolutie 3dB-splitter

- balans.

enkelmaskering	0.504 ± 0.026	dubbelmaskering	
	0.497 ± 0.017	0.505 ± 0.002	(TE-pol)
		0.501 ± 0.005	(TM-pol)
- excess verliezen: < 0.3 dB
- golflengte afhankelijkheid: gering

10 dB-koppelaar

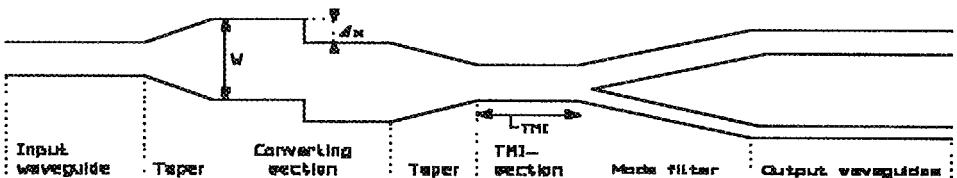
De 10dB-koppelaar, of fractiesplitser (fig. 3), is nodig om een klein deel van het optische signaal af te kunnen tappen voor monitordoeleinden. De component is gebaseerd op een abrupte verstoring in een bimodale golfgeleider, waardoor een gedefinieerde fractie van de nulde-orde modus omgezet wordt naar de eerste-orde modus. Met een asymmetrische Y-splitser, die functioneert als een modussplitser, wordt deze fractie afgesplitst. Dit principe maakt polarisatie- en golflengte-onafhankelijke werking mogelijk.

Polarisatiesplitters

Drie typen polarisatiesplitters zijn ontwikkeld en gerealiseerd. Het eerste type is gebaseerd op evolutie van de golfgeleidermodus zonder storing (adiabatische propagatie), het tweede type werkt volgens moduskoppeling en -filtering, het derde type maakt gebruik van een polarisatie-afhankelijke richtkoppelaar.

Modusevolutie polarisatiesplitser

De modusevolutie polarisatiesplitser bestaat uit drie secties (zie figuur 4). De invoersectie bestaat uit een omgekeerde



Figuur 3
Bovenaanzicht fractiesplitser

- splitsing 10 dB ± 1 dB (TE-en TM-pol)
- excess losses: < 1.0 dB
- lengte < 2.5 mm
- golflengte afhankelijkheid: gering

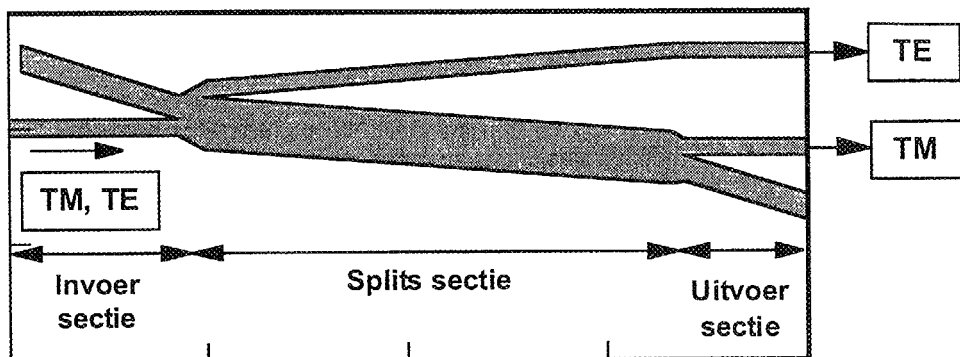
modussplitser, waardoor licht van beide polarisaties (TE en TM) naar de eerste-orde modus worden omgezet. In de splitssectie wordt vervolgens gebruik gemaakt van de grote dubbelbreking die eerste-orde modi in dijkgolfgeluiders ondervinden om TE en TM m.b.v. het modusevolutie effect te scheiden. Er is dan nog een uitgangsectie nodig, bestaande uit een tweede modusplitser, om de eerste-orde TM-modus om te zetten naar een nulde-orde modus.

orde modus wordt omgezet. Γ ; modus-splitser, of modusfilter, zorgt daarna voor de polarisatiesplitsing. Dit is een zeer flexibel principe; door aanpassing van de periodieke structuren kan men b.v. polarisatiesplitsing in gedefinieerde golflengtegebieden verkrijgen

Korte polarisatiesplitser

Bij deze polarisatiesplitser wordt eveneens gebruik gemaakt van de grote dubbele breking die eerste-orde modi in dijkgolfgeluiders

Modus-evolutie



Figuur 4

Bovenaanzicht van de modusevolutie koppelaar

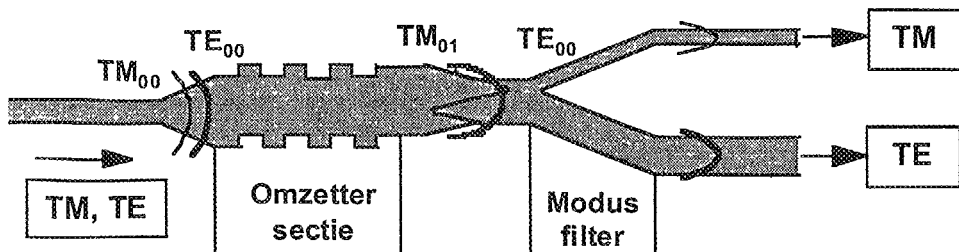
- splitsverhouding -12/-16 dB (TE-pol.)
- demping -14/-18 dB (TM-pol.)
- lengte < 1 dB
- commentaar 6 mm (tweede generatie 4.5 mm)
zeer ongevoelig voor de golflengte

Modusomzettende polarisatiesplitser

In deze component wordt net als bij de fractiesplitser gebruik gemaakt van abrupte overgangen om een omzetting naar de eerste-orde modus te verkrijgen. Ook is er, net als bij de fractiesplitser, een modus-splitser aanwezig om eerste- en nulde-orde modi te scheiden. In dit geval vormen de abrupte overgangen echter een periodieke structuur, waardoor selectief een van de polarisaties naar een eerste-

ders ondervinden. Het principe is nu dat modi in een richtkoppelaar alleen substantieel energie uitwisselen als ze gelijke voortplantingssnelheden hebben; is dit niet het geval, dan vindt effectief geen koppeling plaats. In de polarisatiesplitser wordt de snelheid van een eerste-orde modus van een polarisatie gelijk gemaakt aan die van een nulde-orde modus van dezelfde polarisatie in de tweede golfgeluiders. De energie in deze nulde-orde modus wordt

Modus-omzetting

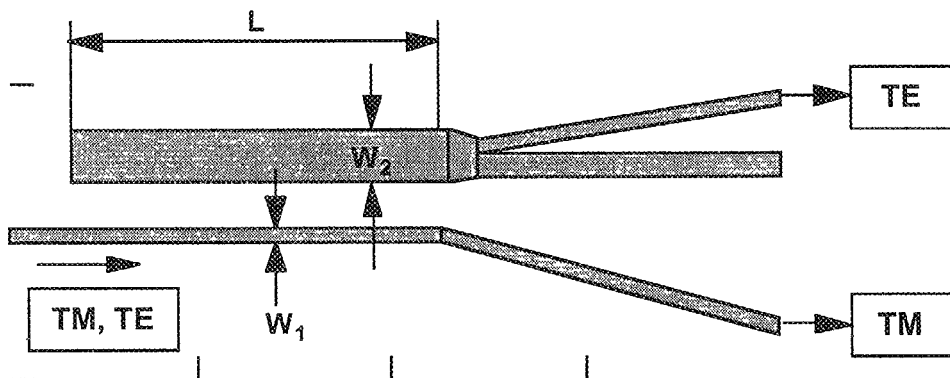


Figuur 5

Bovenaanzicht van modus-omzettende polarisatiesplitser

- splitsverhouding -13 dB (TE-pol.)
-20 dB (TM-pol.)
- demping 0.9 dB (TE-pol.)
0.2 dB (TM-pol.)
- lengte 7 mm
- commentaar enige golflengte-afhankelijkheid

Richtkoppelaar



Figuur 6

Bovenaanzicht van de korte richtkoppelaar

- splitsverhouding -12 dB (TE-pol.)
-20 dB (TM-pol.)
- demping <1 dB (TE- en TM-pol.)
- lengte 1.5 mm
- commentaar golflengte onafhankelijk

dan bij een geschikte lengte van de koppelaar volledig overgedragen naar de eerste-orde modus in de andere golfgeleider. Er is dan nog een modussplitser nodig om deze laatste modus weer naar een nulde-orde om te zetten. Dit principe levert een extreem korte polarisatiesplitser op.

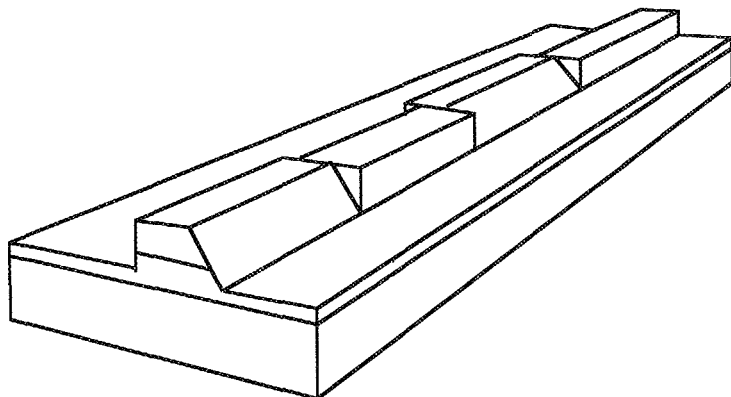
Monomodale polarisatie-omzetter

Een functie die gebruikt kan worden om de polarisatie-afhankelijkheid van geïntegreerde optische circuits op te lossen is polarisatie-omzetting. KPN Research heeft gebruik gemaakt van schuine kanten in golfgeleiders om deze omzetting effectief in een passieve structuur te verkrijgen. Door de schuine kanten kantelt het veld van de modi enigszins, waardoor een ster-

nat-chemisch etsen gerealiseerd.

Bimodale polarisatie-omzetter

Een bijzondere vorm van een polarisatie-omzetter is de bimodale variant. Hierin worden geen nulde-orde modi van beide polarisaties in elkaar omgezet, maar een nulde-orde modus van de ene polarisatie in de eerste-orde modus van de andere polarisatie. Uit deze component komen dus bij een willekeurige ingangspolarisatie aan de uitgang twee modi met gelijke polarisatie! Dit maakt het mogelijk polarisatie-afhankelijke circuits zonder aanpassingen in het ontwerp polarisatie-onafhankelijk te maken, door ze te integreren met de bimodale polarisatie-omzetter.



Figuur 7

Perspectief van de monomodale polarisatie-omzetter

- polarisatie-omzetting > 90% @11 secties
- propagatiedemping 1 dB/mm
- koppeldemping 0.3 dB per junctie
- lengte < 1 mm
- commentaar door het ontwerp aan te passen kan de koppeldemping een factor 10 verlaagd worden

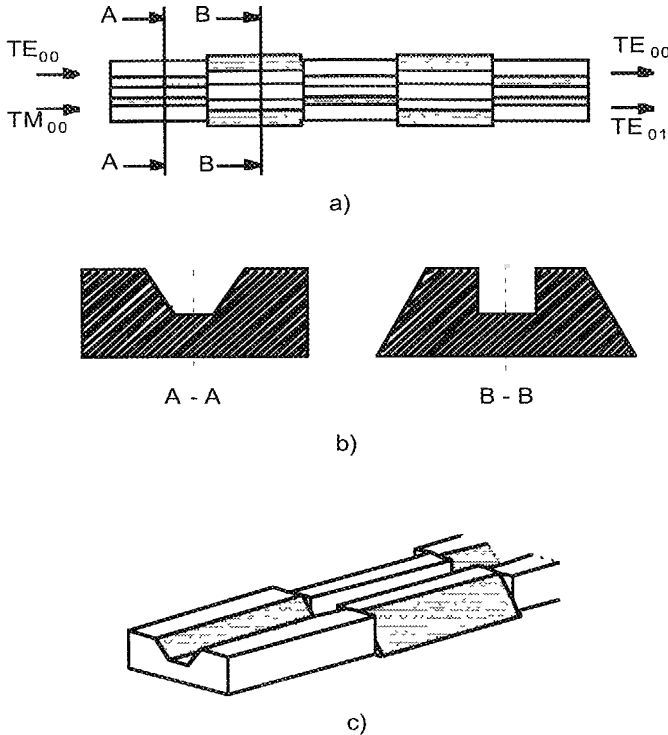
kere koppeling naar de andere polarisatie mogelijk wordt. Hiervoor is een periodieke structuur nodig (zie fig.7), waarbij de omzetting tussen de polarisaties aan de overgangen tussen de golfgeleidersecties plaatsvindt. De schuine kanten worden met

Er zijn twee verschillende typen van de bimodale omzetter gerealiseerd. De eerste realisatie maakt gebruik van omzettersecties waarin in elke tweede omzettersectie een gleuf is gemaakt door gebruik te maken van selectief nat-chemisch etsen.

Met deze techniek is ervoor gekozen een ontwerp te gebruiken waar deze sleuf eindigt in een stompe V-groef. Deze geometrie resulteert in een component met redelijk lage koppeldemping en grote fabricage tolerantie. De tweede (geoptimaliseerde) realisatie maakt gebruik van

V-groeven die in een scherpe punt eindigen, nat-chemisch geëts met broom/methanol. Dit verhoogt de polarisatiekoppeling per junctie, waardoor een kleiner aantal juncties nodig zijn voor maximale polarisatiekoppeling. Hierdoor wordt een zeer golfnengtolerante component verkregen.

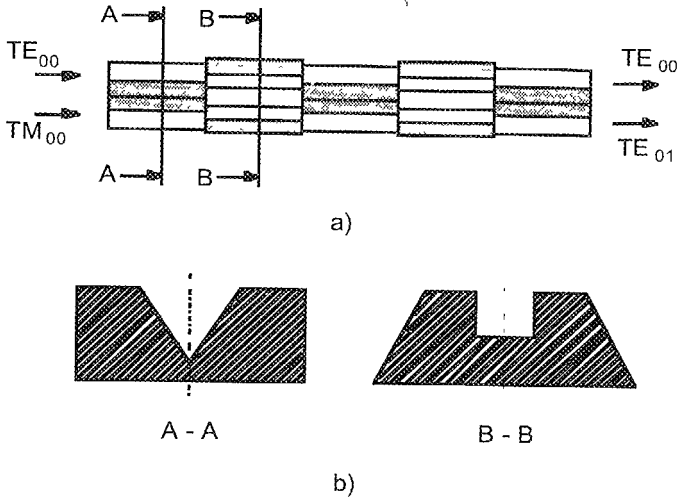
Eerste ontwerp



Figuur 8

Bimodale polarisatie-omzetter: a) bovenaanzicht, b) dwarsdoorsnee van de golfgeleidersecties, c) 3D-afbeelding

- polarisatie-omzetting 50% (TM→TE-pol) @16 secties
 <5% (TE→TM-pol.)
- demping 0.3 dB/mm (secties met rechte wanden)
 2.0 dB/mm (secties met schuine wanden)
 <0.05 dB/junctie
- commentaar Golfnengtegebied waarin omzetting optreedt is 30 nm



Figuur 9

Bimodale polarisatie-omzetter a) bovenaanzicht, b) dwarsdoorsnee van de golfgeleidersecties, c) 3D-afbeelding

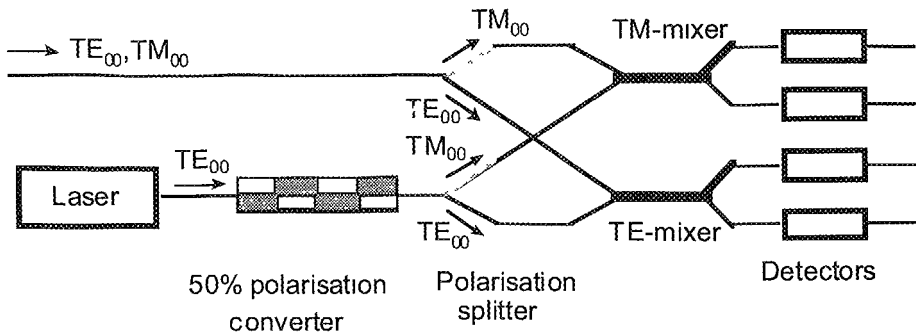
- polarisatie-omzetting 85% (TE→TE)@3 secties
- demping 1.25 dB/mm (secties met rechte wanden)
2.6 dB/mm (secties met schuine wanden)
- commentaar 0.5-10 dB/junctie
deze component is zeer golfengte onafhankelijk
(± 120 nm FWHM)

Integratie

De bovengenoemde componenten zijn deels gebruikt in de realisatie van een geïntegreerde Polarisation Diversity Network (PDN). Er zijn twee typen PDN's ontwikkeld. Het eerste type PDN is gebaseerd

op de monomodale polarisatie-omzetter, zie figuur 10

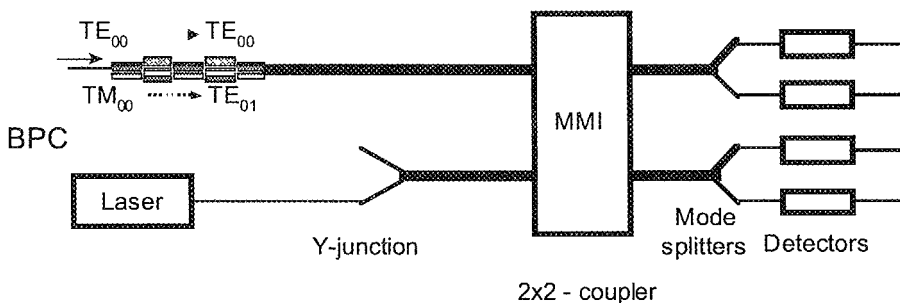
Voor het ontvangerconcept in figuur 10 zijn PDN's ontworpen en gerealiseerd. Deze PDN's gaven niet de gewenste balans.



Figuur 10
 PDN in een heterodyne ontvanger. Klassiek ontvangerconcept met polarisatiesplitters en passieve polarisatie-omzetter

Aangezien efficiëntere integraties gerealiseerd kunnen worden door gebruik te maken van de bimodale omzetter is het klassieke concept verlaten. In de volgende paragraaf zullen de behaalde resultaten met de integratie van de bimodale polarisatie-omzetter behandeld worden

Polarisatie diversity netwerk



Figuur 11
 PDN met bimodale polarisatie-omzetter. Het netwerk is inclusief een 2x2 MMI-koppelaar met bimodale in- en uitgaande golfgeleiders

- balans : 0.50 (bovenste en onderste uitgangen modussplitters)
- : 0.52 (middelste uitgangen modussplitters)
- demping : 2.5 dB
- afmeting : 8.5x0.05 mm²

Conclusies

In dit project zijn op het gebied van bewerkingstechnologie voor indiumfosfide nieuwe technologieën ontwikkeld ten behoeve van de realisatie van geïntegreerd optische componenten. Dit is belangrijk geweest voor KPN Research in het streven naar ontwikkeling van nieuwe optische componenten voor toepassingen in optische communicatie. Door zowel zelf als in samenwerking met de Nederlandse technische universiteiten en de industrie nieuwe componenten-concepten te ontwikkelen zijn de bij KPN Research ontstane ideeën aan de praktijk getoetst. Hierbij is een breed scala aan geïntegreerd optische componenten gerealiseerd. Dit heeft tot een zeer hoog aantal internationale publicaties (5 artikelen, 10 conferentie bijdragen) en octrooien (14) van KPN Research geleid. Bovendien heeft dit werk geleid tot talrijke gemeenschappelijke publicaties met de samenwerkingspartners (de vakgroepen OPTICA en TTT) van de TU Delft

Geconcludeerd kan worden dat de uitvoering van dit project en de behaalde projectresultaten een stimulans is geweest voor onderzoek op het gebied van geïntegreerde optica in met name Nederland, maar ook, door het internationale karakter van dit project, in andere landen waarin men werkzaam is op dit onderwerp. Nederland heeft zeker haar positie verbeterd ten opzichte van andere landen in de wereldwijde arena, mede door dit project. De tijd is nu gekomen de ontwikkelde concepten tegen het licht van commerciële toepassingen te houden. De toekomst zal laten zien of de concepten van KPN Research vruchten zullen afwerpen ten gunste van KPN, en daardoor ook voor de Nederlandse economie.