

Flitsende telecommunicatie

Citation for published version (APA):

Verbeek, B. H., & Smit, M. K. (1989). Flitsende telecommunicatie. *Elektronica*, 37(13/14), 29-33.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1989

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Flitsende telecommunicatie

Succes met planaire optische componenten voor TU Delft

In het afgelopen decennium heeft de glasvezel de koperkabel verdrongen voor de lange-afstandscommunicatie. In het komende decennium zal ze dat ook in het lokale net gaan doen. Iedere abonnee zal dan via één of twee glasvezels met de centrale worden verbonden. De communicatie zal niet langer via (digitale) stroomstootjes, maar via lichtflitsjes verlopen. Die lichtflitsjes zullen in een flitsend tempo door de glasvezel gaan: zo'n half miljard per seconde bijvoorbeeld voor ieder HDTV-kanaal (TV met hoge beeldkwaliteit). Om zich op die omwenteling voor te bereiden, investeren de industriële laboratoria in Amerika, Europa en Japan enorme bedragen in de ontwikkeling van optische chips. De TU Delft wil aan deze flitsende ontwikkeling graag een bijdrage leveren.

Een optische communicatieverbinding is in principe erg eenvoudig. Aan het begin is er een lichtbron (een LED of, voor hoge snelheden, een laser) die elektrische pulsjes omzet in lichtpulsjes. Die lichtpulsjes worden in een glasvezel gekoppeld en aan de andere kant van de vezel door een fotodiode weer omgezet in elektrische pulsjes. De grote voordelen van glasvezels boven koperkabels zijn de lage verliezen (minder dan 10% per kilometer) en de enorme transmissiecapaciteit. Om die capaciteit goed te benutten zijn er verschillende transmissieschema's bedacht. Het is niet aantrekkelijk om het hele informatieaanbod elektronisch te stapelen en daarna optisch over te zenden, omdat voor het stapelen en ontstapelen zeer snelle (en dus dure) elektronica nodig is. In plaats daarvan kunnen ook verschillende kanalen parallel over de glasvezel worden gezonden, bijvoorbeeld bij verschillende golflengten. Per kanaal kan de snelheid dan beperkt blijven tot de circa 0,5 gigabit per seconde die nodig is voor de grootste informatieslokop, de HDTV (High-Definition Television).

COHERENTE COMMUNICATIE

Een moderne manier om een groot aantal kanalen parallel over de glasvezel te zenden is met behulp van coherente communicatie. Het principe is gelijk aan dat van heterodyne of homodyne radio-ontvangst. Bij dit detectieprincipe wordt het antennesignaal en het signaal van de lokale oscillator gemengd in een diode, waardoor mengproducten ontstaan die zowel de som- als verschilfrequenties van beide signalen bevatten. Vooral dit laatste is interessant. Als de lokale oscillator is afgestemd op de centrale frequentie van een kanaal dan komt

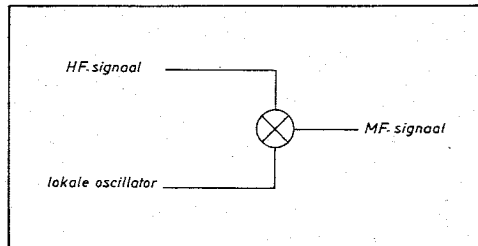
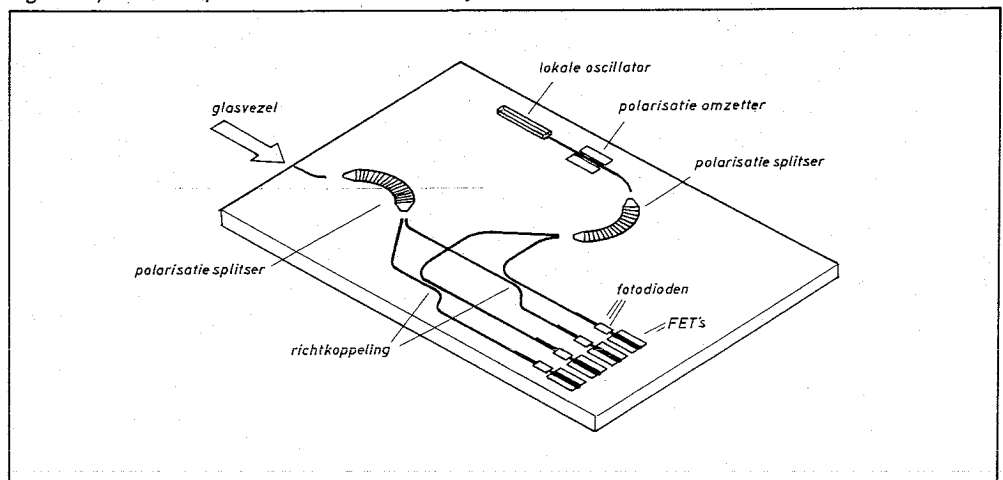


Fig. 1. Detectieschema van een heterodyne ontvanger.

het modulatiesignaal in basisbandligging uit de mengtrap. Door de lokale oscillator verstempbaar te maken, kan men de uit de vele kanalen in het antennesignaal het gewenste kanaal selecteren. Figuur 1 geeft het detectieschema. Vaak converteert men de signalen niet meteen naar de basisband (homodyne detectie), maar naar een middenfrequentie (meestal 70 MHz), zodat het signaal makkelijker te versterken is voordat het wordt gedetecteerd (heterodyne detectie).

Fig. 2. Optische chip voor coherente heterodyne detectie.



Bij coherente optische communicatie wordt precies hetzelfde principe toegepast. Alleen is de frequentie van de nu optische draaggolf veel hoger (2 teraHz, dat is $2 \cdot 10^{12}$ Hz). Als lokale oscillator wordt een zeer stabiele verstembare laser gebruikt (met een ruisbandbreedte van minder dan 1 MHz). Door het licht van deze laser samen te voegen met het signaal uit de glasvezel, zullen er in de detectordiode weer mengproducten ontstaan. Precies als bij radio-ontvangst kunnen we uit een groot aantal kanalen het gewenste kanaal kiezen door de lokale oscillator (een laser) te verstemen. De middenfrequentie wordt bij optische communicatie meestal in de microgolfgedebied gekozen (enkele GHz).

OPTISCHE CHIPS

Bij optische coherente communicatie hebben we aan de ontvangstkant wat meer nodig dan een simpele fotodiode. Figuur 2 toont een vereenvoudigde weergave van een optische ontvanger, zoals die toepassing zou kunnen vinden in toekomstige breedbandige optische communicatienet-ten. De chip is enkele millimeters groot en werkt als volgt: het samenvoegen van het signaal uit de vezel met dat van de lokale oscillatorlaser gebeurt met behulp van een richtingskoppeling. Deze koppeling bestaat uit twee optische golfgeleiders die over een korte afstand zo dicht naast elkaar lopen, dat er vermogensoverdracht plaats vindt en is zo ontworpen dat in beide uitgangen 50% van zowel het ingangssignaal als het signaal van de lokale oscillator terecht komt.

Fotodioden mengen vervolgens het optische signaal. Licht is echter gepolariseerd, zodat beide signalen een gelijke polarisatierichting moeten hebben om succesvol te kunnen mengen. De polarisatierichting van de lokale oscillator ligt vast, terwijl de polarisatierichting van het licht dat uit de kilometers lange glasvezel komt echter on-

▷ voorspelbaar is. Staat deze richting toevallig haaks op de polarisatie-richting van de lokale oscillator, dan zal het signaal aan de uitgang van de detector wegvallen (fading).

Om dit probleem te ondervangen wordt het binnenkomende signaal door een polarisatiesplitser gesplitst in twee signalen met onderling loodrechte polarisatie-richtingen. Hetzelfde geldt voor het signaal van de lokale oscillator, waarna de signalen met gelijke polarisatie-richtingen door afzonderlijk fotodioden worden gemengd en gedetecteerd. Wanneer het signaal afkomstig van de ene fotodiode wegvalt, zal het voor de andere detector maximaal zijn. Beide uitgangssignalen worden na voorversterking door een FET op een geschikte manier bij elkaar opgeteld, waardoor het somsignaal onafhankelijk is voor polarisatieschommelingen van het ontvangstsignaal.

HET MATERIAAL

Het bekendste halfgeleidermateriaal, silicium, is helaas niet bruikbaar voor het maken van monolithisch geïntegreerde optische chips omdat silicium niet geschikt is voor het opwekken van licht (zie hiervoor ook het artikel van prof. dr.-ing. L.M.F. Kaufmann). Materialen die dat wel kunnen zijn de zogenoemde III/V-halfgeleiders. Qua structuur lijken ze veel op silicium. Het kristalrooster is opgebouwd uit III- en V-waardige elementen die om en om in het kristalrooster zijn gerangschikt. De bekendste is galliumarsenide (GaAs). Dit materiaal heeft voor optische communicatie als nadeel dat het alleen licht kan opwekken en detecteren bij een golflengte van 0,8 μm . Bij deze frequentie zijn de eigenschappen van de glasvezel verre van optimaal. Voor optische communicatie wordt daarom thans vrijwel uitsluitend onderzoek verricht aan het quaternaire halfgeleidermateriaal indium-gallium-arsenide-fosfide (InGaAsP). Met dit materiaal kunnen golflengten van 0,9 μm tot 1,65 μm worden opgewekt, afhankelijk van de samenstelling. Dit sluit uitstekend aan bij de golflengten waarvoor de glasvezeleigenschappen optimaal zijn (1,3 μm en 1,55 μm).

NATIONALE SAMENWERKING

Het realiseren van een chip als hierboven geschetst is geen kleinigheid. Om in Nederland toch onderzoek van enig niveau te kunnen verrichten werken momenteel verschillende instituten samen in het kader van het onlangs gestarte deelprogramma 'Electro-Optics' van het Innovatieve Onderzoeksprogramma (IOP) 'IC-Technologie'. Dergelijke programma's worden door het ministerie van Economische Zaken gesubsidieerd om samenwerking van de universiteiten met het bedrijfsleven op innova-

tieve onderzoeksthema's te stimuleren. Voor de komende twee jaar stelt het ministerie een bedrag van 2,3 miljoen gulden beschikbaar waaraan de verschillende deelnemers een gelijk bedrag toe moeten voegen. Deze samenwerking heeft betrekking op het realiseren van de omschreven optische ontvanger.

TAAKVERDELING

De uiteindelijke uitvoering zal door de snelle ontwikkelingen in de opto-elektronica nog wel veranderen, maar zal in grote lijnen dezelfde componenten bevatten. Vervaardiging van de optische chip zal plaatsvinden bij de TU Delft. Daar werken de faculteiten der Elektrotechniek (ET) en der Technische Natuurkunde (TN) al sinds 1983 samen op het gebied van geïntegreerde optische circuits. Elektrotechniek zal de ontwikkeling van het passieve deel van het circuit voor z'n rekening nemen (golfsleiders, koppelingen, polarisatiesplitters). Het onderzoek aan koppelingen en koppelnetwerken (een combinatie van een aantal koppelingen) gebeurt in samenwerking met het Neher Laboratorium van de PTT en de TU Eindhoven (ET). Daarnaast zal de TU Delft (ET) zorg dragen voor de integratie van het optische circuit met de benodigde fotodioden en FET's. Een promotieonderzoek op dit gebied is onlangs van start gegaan. Het onderzoek wordt uitgevoerd in samenwerking met de TU Eindhoven (ET) die voor een modellering van de FET zorg draagt.

COMPLICATIES

Zoals gezegd moet de polarisatie-richting van het lokale-oscillatorsignaal eerst 45° worden gedraaid, zodat de polarisatiesplitser de bundel in twee richtingen kan splitsen. Dit is mogelijk met een polarisatiegelaar. De ontwikkeling daarvan neemt de TU Delft (fac. TN) voor zijn rekening, in samenwerking met het Neher Lab van de PTT. Een belangrijk probleem is de koppeling van de glasvezel aan de chip. Omdat de optische golfsleiders op de chip minuscule afmetingen hebben (in de orde van een micrometer) terwijl de kern van de glasvezel tien keer zo groot is, vereist dat veel kunst en vliegwerk. In de afgelopen jaren heeft de Technisch Fysische Dienst TNO-TH daar ervaring mee opgedaan. Deze ervaring zal in het nieuwe project ingebracht worden. Het monolithisch integreren van de lokale oscillator is op korte termijn te gecompliceerd. Als lokale oscillator zullen daarom apart geproduceerde lasers (van Philips) worden gebruikt. Het onderzoek van het koppelen van deze lasers aan optische chips voert het Fysisch en Elektronisch Laboratorium van TNO, in samenwerking met de TU Delft uit. Philips Natuurkundig Laboratorium en het Neher Labora-

torium van de PTT participeren in de afstemming van het programma op de ontwikkelingen in de optische communicatie. Philips verleent bovendien technische ondersteuning op het gebied van de halfgeleider-technologie.

VERVOLG

Wie de bovenstaande taakomschrijvingen aankruist op de chip zal zien dat de hele chip 'verkaveld' is. Het is aan de participanten om in de komende jaren te laten zien dat door een dergelijke bundeling van krachten prestaties op internationaal niveau kunnen worden geleverd. Omdat een modern telecommunicatienetwerk niet zonder twee-richtingsverkeer kan, is in een later stadium ook een geïntegreerde zender nodig. Hiervan is naast de zend- en modulator een belangrijk component. Aan de ontwikkeling van de modulator zullen de Universiteiten van Eindhoven (faculteit der Technische Natuurkunde) en Twente (faculteit der Elektrotechniek) gaan werken.

DELFTSE BIJDRAGE

In het eerste gedeelte van dit artikel is een overzicht gegeven van de nationale samenwerking op het gebied van opto-elektronische IC's (OEIC's) voor de telecommunicatie. De betrokken instituten zullen in dit themanummer hun activiteiten verder toelichten. Het tweede gedeelte van dit artikel gaat over de activiteiten van de vakgroep Telecommunicatie- en Teleobservatietechnologie (TTT) van de TU Delft, die een belangrijke rol speelt in het project.

De eerste schreden op het gebied van de optische communicatie zette de vakgroep TTT (toen nog Microgolfttechniek) in 1981 met de benoeming van prof. dr. G.A. Acket als hoogleraar in de techniek van de glasvezelcommunicatie. In 1982 werd een begin gemaakt met de inrichting van een laboratorium voor de vervaardiging van optische chips. De mogelijkheden daarvan waren voorlopig beperkt tot het fabriceren van passieve optische schakelingen op silicium-substraat. In dit systeem zijn echter inmiddels interessante resultaten bereikt, waarover straks meer.

Om ook actieve componenten, zoals fotodioden en FET's te kunnen integreren is silicium niet geschikt als substraatmateriaal. In 1986 werd daarom begonnen met de bouw van faciliteiten om optische schakelingen in het quaternaire halfgeleidermateriaal indium-gallium-arsenide-fosfide (InGaAsP) op InP-substraat te kunnen maken. Dit project werd gesteund door het ministerie van Economische Zaken en met steun van het Philips Nat Lab lukte het om

begin '87 een epitaxiëreactor (LPE, Liquid Phase Epitaxy) operationeel te krijgen.

In de loop van dat jaar is er een proces ontwikkeld voor het vervaardigen van optisch geleidende lagenstructuren. Medio 1988 zijn de eerste actieve structuren vervaardigd. Sinds begin 1989 is een reactieve ionenetscher beschikbaar, waarmee golfgeleiders van goede kwaliteit kunnen worden gemaakt. Het onderzoek is er thans op gericht om de componenten die reeds gerealiseerd zijn op siliciumsubstraat ook in In-GaAsP te vervaardigen en ze daarna te integreren met fotodioden en FET's. Het onderzoekprogramma van de vakgroep omvat dus twee onderdelen: passieve optische componenten op siliciumsubstraat en opto-elektronische op InP-substraat.

PASSIEVE COMPONENTEN

Door de aanwezigheid van het IC-atelier (thans DIMES genaamd) lag het voor de hand om als substraatmateriaal voor de optische structuren silicium te gebruiken. Hierdoor waren de vele faciliteiten voor IC-fabricage bij het onderzoek te gebruiken. Figuur 3 toont de door de vakgroep ontwikkelde golfgeleiderstructuur. De golfleiding vindt plaats onder het verhoogde gedeelte (de 'ridge') in de aluminiumoxydelag die is opgeloten tussen twee siliciumdioxidelagen. Licht blijft in de ridge het verhoogde gedeelte volgen, ook door bochten heen. Dit lijkt veel op lichtgeleiding in glasvezels door de kern.

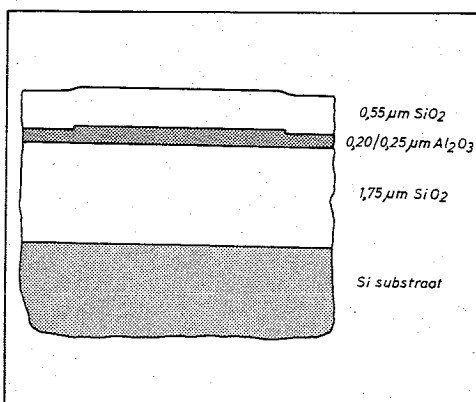
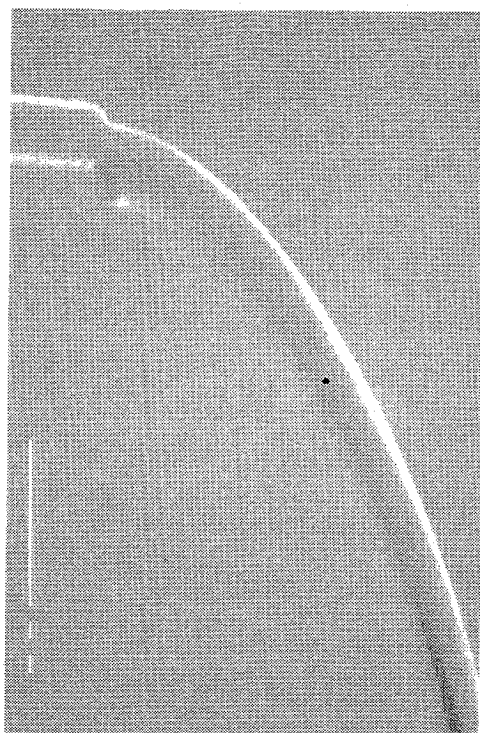


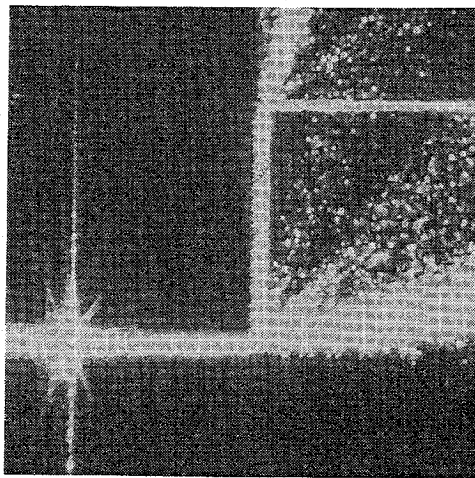
Fig. 3. Doorsnede van een planaire optische golfgeleider van het 'ridge type'.

RECORD VOOR BOCHTEN

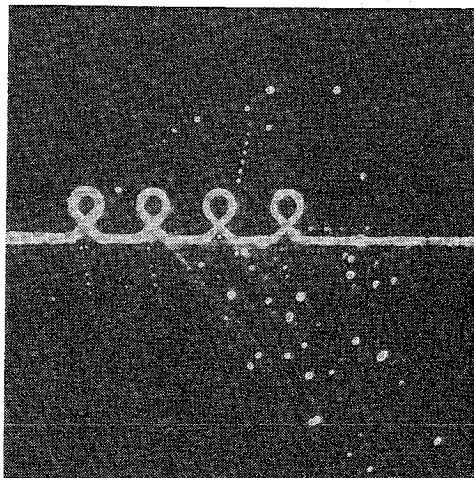
Bochten vormen een belangrijk element in optische schakelingen. Korte bochten met lage verliezen zijn nodig om de schakelingen te kunnen miniaturiseren. Ook voor het opvouwen van lange componenten op een klein oppervlak spelen bochten een belangrijke rol. Internationaal staat het onderzoek aan de bochten sterk in belangstelling. Delft heeft op dit gebied een vooraanstaande positie: het heeft de kortste bochten met geringe verliezen op z'n naam



Afb. 4. Scanning Electron Microscope (SEM) opname van een gebogen optische golfgeleider met een aanpassing aan de rechte golfgeleider.



Afb. 5. Afstralingsverliezen in slecht ontworpen bochten.



Afb. 6. Viertal optische lussen met bochtstralen van $150 \mu\text{m}$.

staan; $0,5 \text{ dB}/90^\circ$ voor een bocht met een straal van $50 \mu\text{m}$. Afbeelding 4 laat zien hoe die lage verliezen gerealiseerd zijn. Omdat in een korte bocht de lichtbundel zich naar de buitenbocht verplaatst en enigszins wordt platgedrukt (hij ondervindt als het ware een centrifugale kracht), komt de vorm van de lichtbundel bij het verlaten van de bocht niet meer overeen met die van een rechte golfgeleider. Bij een rechte geleider is de bundel breder en plant hij zich in het midden voort. Daardoor ontstaan er op de overgang tussen een rechte en een gebogen golfgeleider aanpassingsverliezen die kunnen oplopen tot meer dan 25% per overgang. Door de rechte golfgeleider wat smaller te nemen en zodanig te verplaatsen ten opzichte van de bocht dat de lichtbundel al in de buitenbocht wordt 'gelanceerd', zoals zichtbaar in afbeelding 4, kunnen deze aanpassingsverliezen tot een minimum worden teruggebracht. Afbeelding 5 laat zien wat er in een niet aangepaste bocht (rechte en gebogen golfgeleider in elkaars verlengde) gebeurt en afbeelding 6 geeft weer wat er met een goede aanpassing mogelijk is.

POLARISATIESPLITTERS

Voor het realiseren van polarisatie-splitters en golflengtedemultiplexers is door Delft een nieuw principe ontwikkeld, een 'optische phased array'. Figuur 7 toont het principeschema van de polarisatiesplitser, afbeelding 8 is een foto van een gerealiseerd exemplaar. De werking is als volgt.

De middelste golfgeleider aan de linkerkant is gekoppeld aan de glasvezel en bevat dus licht met beide polarisatierichtingen. Dit licht wordt geleid tot het eind van de golfgeleider, van waaruit het een divergerende bundel vormt. Deze bundel blijft in transversale richting opgesloten in de aluminiumoxydefilm en wordt in een matrix met een flink aantal golfgeleiders gekoppeld, die het licht geleiden naar het uitkoppelvlak (output plane). Daar wordt de amplitudeverdeling gereconstrueerd. Als de matrix zo is ontworpen dat iedere golfgeleider een geheel aantal golflengten lang is, zal de faseverdeling uniform zijn. De bundel zal dan convergeren en focuseren in het brandvlak van de matrix. Als de golflengte een kleine afwijking krijgt van de ontwerpgolflengte zal daardoor de faseoverdracht van de buitenste kanalen sterker veranderen dan die van de binnenste. De binnenste zijn immers langer. Omdat de lengte van de kanalen vrijwel lineair toeneemt van binnen naar buiten zal ook de faseverandering lineair toenemen, de uit-tredende bundel zal daardoor enigszins kantelen. Onderzoek heeft uitgewezen dat ook de brandpuntsafstand een beetje zal veranderen.

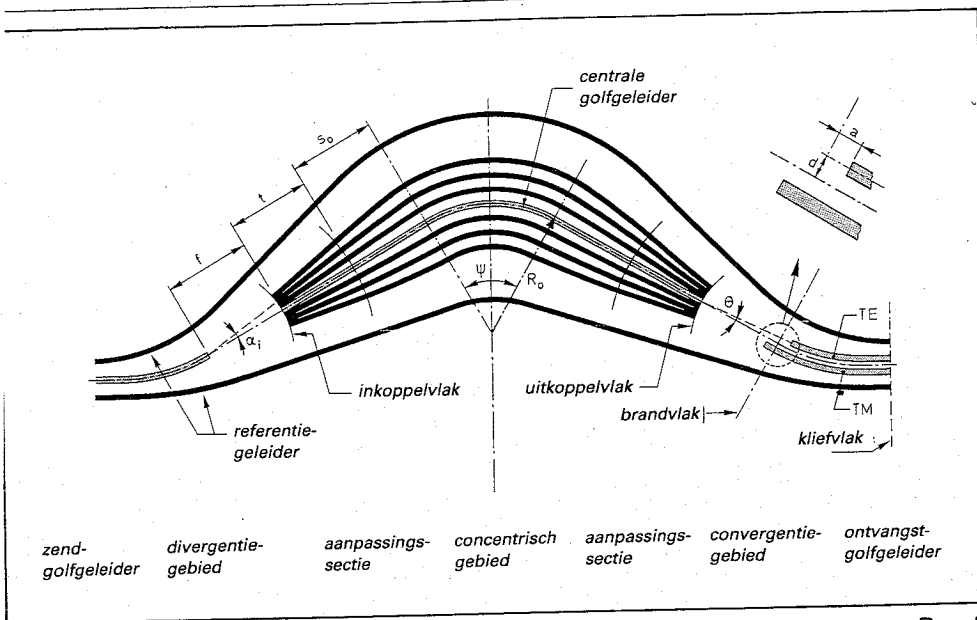
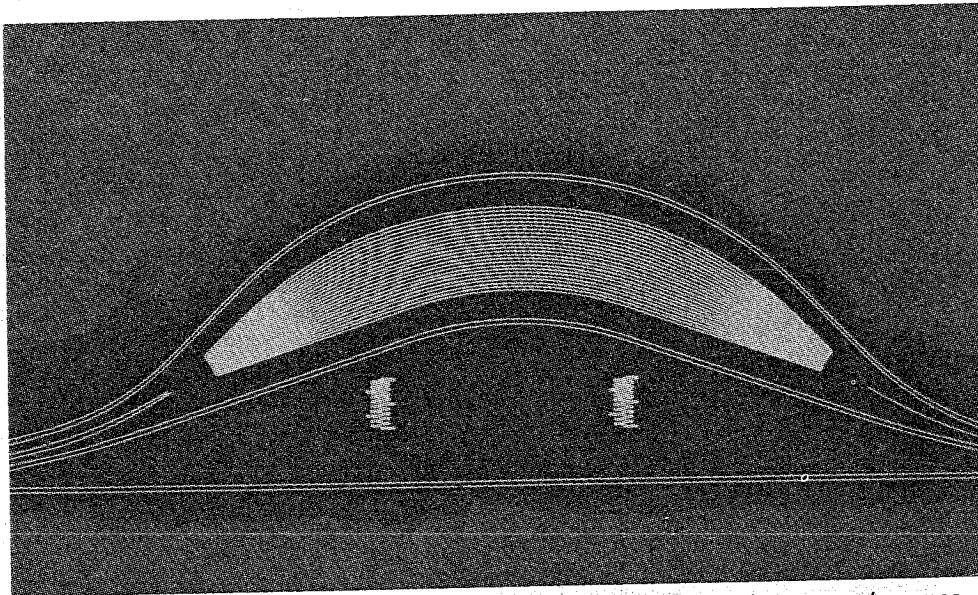


Fig. 7. Schematische weergave van de polarisatiesplitser. Door juiste keuze van ψ , α_i en R_0 zal het lengteverschil tussen de golfgeleiders van binnen naar buiten toe lineair toenemen. De golflengte van het licht is enigszins afhankelijk van de polarisatierichting. In het brandvlak zal licht met een ongelijke fase tot uitdoving leiden. Hierdoor zal ongepolariseerd licht worden gesplitst in twee bundels met een verschillende polarisatierichting (resp. TE; transversaal elektrisch en TM; transversaal magnetisch). Als gevolg van de afwijkende golflengte hebben de bundels een verschillend brandpunt. Daarom bezitten het brandpunt en het begin van de uitgangsgolfgeleider een grotere afstand tot het brandvlak.

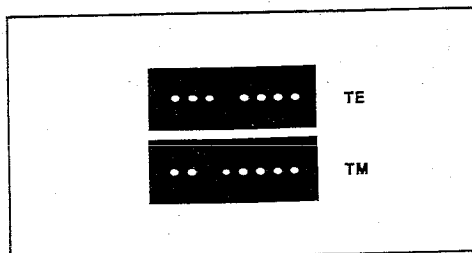


Afb. 8. Microscopopname van een gerealiseerde polarisatiesplitser. De lengte van de component is 2,5 mm.

> Van dit effect wordt gebruik gemaakt om twee polarisaties van elkaar te scheiden. De golflengte van het licht in de optische chip is namelijk enigszins afhankelijk van de polarisatierichting. Door uit te rekenen waar de bundel voor de bijbehorende golflengten focuseert en daar de ontvangergolfgeleiders te plaatsen, kunnen de beide

Fig. 9. Intensiteitsverdeling gemeten aan de polarisatiesplitser op het kliefvlak, aangegeven in figuur 7. De twee linkse en de vier rechtse kanalen zijn referentiekkanalen, die worden gebruikt om de uitgangskanalen van de splitser ermee te kunnen vergelijken.

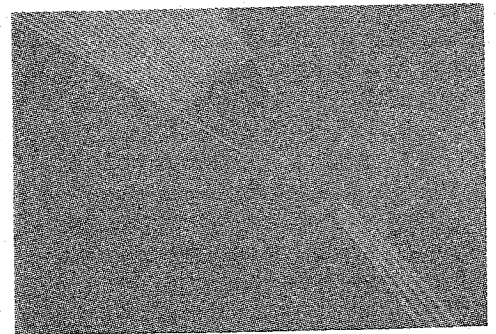
polarisaties afzonderlijk verder worden geleid, zoals te zien is op de illustraties 7 en 8. Om de werking beter te kunnen bepalen, is de plak op de in figuur 7 aangegeven plaats gekliefd. Figuur 9 toont de lichtverdeling op



het kliefvlak, voor de beide polarisatierichtingen. De prestaties van deze passieve optische chip zijn vergelijkbaar met de beste resultaten die tot nu toe zijn gepubliceerd, de afmeting zijn echter aanzienlijk kleiner ($2,5 \times 0,6$ mm).

DEMULPLEXERS

Op basis van hetzelfde principe is ook een golflengtedemultiplexer vervaardigd. De component is ontworpen voor vier kanalen. In het brandvlak van de matrix worden nu vier uitkoppelgolfgeleiders geplaatst in plaats van twee. Afbeelding 10 laat daarvan een detailopname zien. Figuur 11 toont de lichtverdeling op het kliefvlak voor verschillende golflengten. Ook deze component combineert goede eigenschappen met de kleinste afmetingen die tot nu toe gerapporteerd zijn (3×5 mm).



Afb. 10. Microscopopname van de ontvangstzijde van de gerealiseerde golflengtedemultiplexer. De afstand tussen de vier ontvangstgolfgeleiders bedraagt $5 \mu\text{m}$.

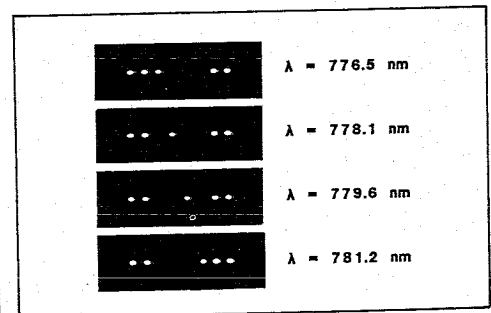


Fig. 11. Intensiteitsverdeling gemeten op het kliefvlak van de demultiplexerchip. De twee linkse en rechtse kanalen zijn referentiegolfgeleiders.

OPTO-ELEKTRONISCHE COMPONENTEN

Om de hierboven genoemde componenten met fotodioden en FET's te kunnen integreren, moeten ze in het quaternaire halfgeleidermateriaal InGaAsP worden gerealiseerd met InP voor de opsluitlagen en als substraatmateriaal. Figuur 12 toont de lagenstructuur waarin passieve en actieve componenten worden geïntegreerd. De dikte van de lagen is in de orde grootte van

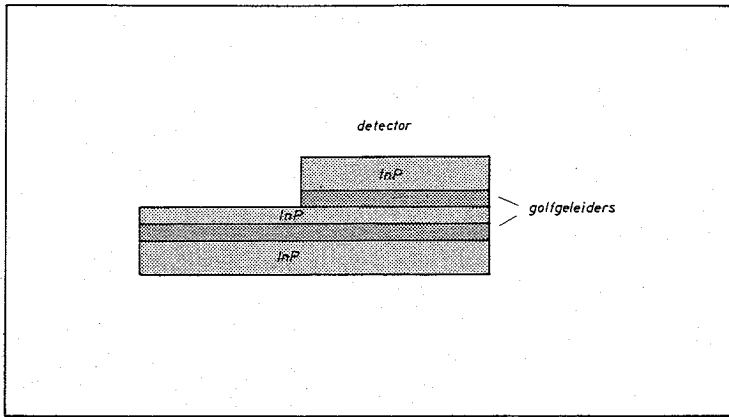


Fig. 12. De lagenstructuur waarin transparante gollegeleiders met absorberende (detectoren) en emitterende (lasers, LED's) componenten kunnen worden geïntegreerd (twin-guide structuur).

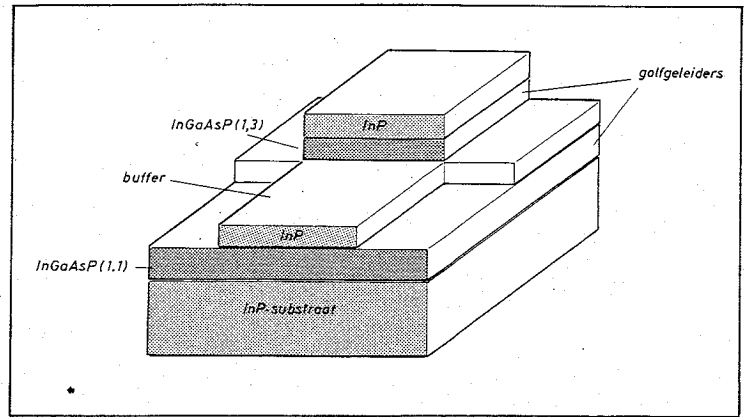
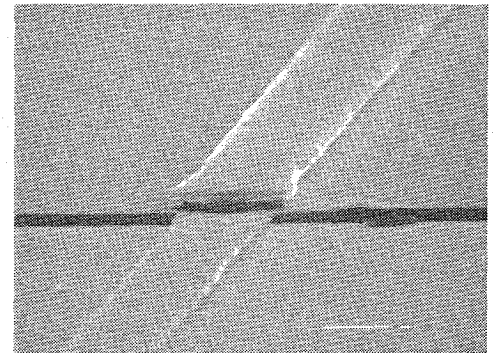


Fig. 13. Driedimensionale schets van een detector gerealiseerd in een twin-guide structuur.

enkele tiende μm . De breedte van de gollegeleiders bedraagt 1 à 2 μm .

De onderste gollegeleider is een transparante film. Daarboven is een absorberende laag op een korte afstand aangebracht, zodat het licht uit de transparante film naar de absorberende overgaat. In deze laag genereren de fotonen elektron-gatparen die via elektroden een stroom in een extern circuit veroorzaken. De structuur werkt dus als fotodiode. Daar waar de absorberende laag verwijderd is, blijft er een transparante gollegeleiderstructuur over.

In de illustraties 13 en 14 is te zien hoe in deze structuren een optisch schakeling wordt gemaakt. Op de voorgrond is een transparante gollegeleider te zien, die uitmondt in de detectordiode (het verhoogde gedeelte op de achtergrond). De in de figuur aangegeven lagen zijn in de elektronenmicroscopiefoto duidelijk herkenbaar. □



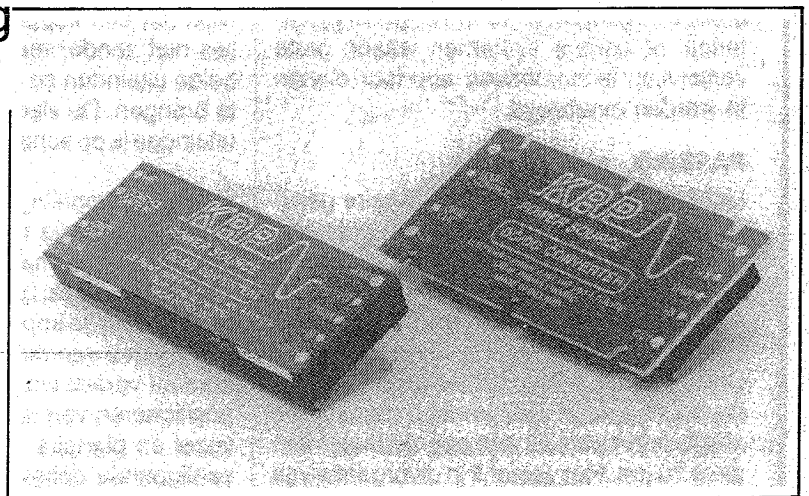
Abl. 14. SEM foto van een volgens het schema van figuur 13 gerealiseerde structuur. Het lange streepje heeft een lengte van 1 μm .



DC to DC converters

Nieuw in het programma laag profiel DC/DC converters met groot vermogen.

- Uitgangsvermogen tot 150 W (KIP 2900/3300)
- Groot ingangsbereik
- MHz schakel techniek
- Remote sensing
- Rendement > 80%
- Afmetingen 115 x 45 x 15 mm (l x b x h)



Vraag uitgebreide documentatie aan bij:

KIP-serie

KLAASING ELECTRONICS B.V.

BENELUXWEG 37, 4904 SJ OOSTERHOUT, TELEFOON: 01620-81600, TELEFAX: 01620-56500.