

19



Octrooiiraad
Nederland

11 Publikatienummer: 9300205

12 A TERINZAGELEGGING

21 Aanvraagnummer: 9300205

51 Int.Cl.5:
G02B 6/12

22 Indieningsdatum: 02.02.93

43 Ter inzage gelegd:
01.09.94 I.E. 94/17

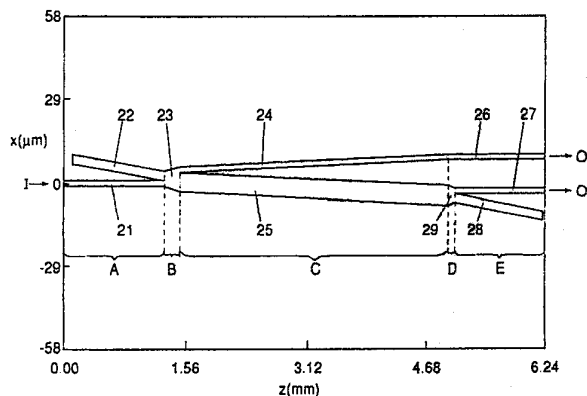
71 Aanvrager(s):
Koninklijke PTT Nederland N.V. te Groningen

72 Uitvinder(s):
Johannes Jacobus Gerardus Maria van der
Tol te Zoetermeer

74 Gemachtigde:
Ir. Th.A.H.J. Smulders c.s.
Vereenigde Octrooibureaux
Nieuwe Parklaan 97
2587 BN 's-Gravenhage

54 Geïntegreerde optische component voor het manipuleren van de polarisatie van optische signalen

57 Een geïntegreerd optische, polarisatiemanipulerende component, omvat een eerste golfgeleidende sectie (A) met een eerste geleider (21), een tweede golfgeleidende sectie (E) met een tweede en een derde optisch ontkoppelde en fysisch gescheiden geleider (26, 27) en een intermediaire golfgeleidende sectie (C) voor een adiabatische koppeling tussen de eerste en de tweede secties (A, B). De intermediaire sectie (C) omvat een polarisatiegevoelige asymmetrische Y-vertakking voorzien van twee, onderling divergerende, intermediaire geleiders (24, 25), een monomodale (24) en een bimodale (25), respectievelijk gekoppeld met de geleiders (26, 27) van de tweede sectie. De geleiders (21, 27) vormen respectievelijk met dummy geleiders (22, 28) polarisatieongevoelige asymmetrische Y-juncties welke als modusomzetters fungeren tussen nulde- en eerste-orde geleide modi. Bimodale koppelsecties (B, D) voorzien in adiabatische koppelingen tussen asymmetrische Y-juncties en de intermediaire sectie (C). Voordelen: de component is realiseerbaar op niet-dubbelbrekende materialen; is relatief eenvoudig te vervaardigen; en bij dijk-type geleiderstructuur is slechts een etsstap nodig.



NL A 9300205

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Geïntegreerde optische component voor het manipuleren van de polarisatie van optische signalen

A. Achtergrond van de uitvinding

1. Gebied van de uitvinding

De uitvinding ligt op het gebied van de geïntegreerde optische componenten. Meer in het bijzonder betreft zij geïntegreerde optische componenten voor het manipuleren van de polarisatie van optische signalen, i.c. splitsen, combineren of filteren.

2. Stand van de techniek

Geïntegreerde optische polarisatie behandelende componenten zoals polarisatiesplitters worden ondermeer toegepast in geïntegreerde uitvoeringen van coherent-optische ontvangers, waarin detectie geschiedt op basis van polarisatie-diversiteit. Van dergelijke geïntegreerde optische polarisatiesplitters zijn globaal genomen twee soorten bekend. De ene soort is gebaseerd op interferentie, waarbij voor het splitsen van beide onderling orthogonale polarisaties TE en TM van/in een lichtsignaal gebruik wordt gemaakt van verschil in fase tussen een fundamentele en een eerste orde propagatiemodus van de polarisaties. De andere soort is gebaseerd op het zo geheten 'mode sorting effect'. Daarbij wordt gebruik gemaakt van verschil in propagatievoorkeur van de polarisaties voor de twee onderling in propagatie-constante verschillende uitgangskanalen van een asymmetrische Y-junctie. De propaga-

tie-voorkeur berust op het feit, dat de asymmetrie voor de beide polarisaties verschillend van teken is, hetgeen kan worden bereikt door toepassing van dubbelbrekende materialen. Zo is uit referentie [1] een polarisatiesplitser op lithiumniobaat bekend met een door middel van Ti-diffusie daarin verkregen
5 golfgeleiderstructuur voor de Y-junctie, waarbij de tegengestelde asymmetrie berust op een anisotropie in toename van de brekingsindex tengevolge van de Ti-diffusie. Uit referentie [2] is een polarisatiesplitser bekend met een golfgeleiderstructuur voor de Y-junctie op basis van transparant poolbaar polymeer. Daarbij is gebruik gemaakt van het feit, dat poolbaar ongepoold
10 polymeer niet dubbelbrekend is, terwijl gepoold polymeer dat juist wel is, waarbij de gepoolde toestand ten opzichte van de ongepoolde toestand een brekingsindexverschil vertoont, dat voor de beide polarisaties onderling van teken verschilt.

Aangezien het momenteel in optische communicatiesystemen gebruike-
15 lijk is voor het lichtsignaal een golflengte in het nabije infrarood te kiezen, kan bij de huidige stand van de techniek een geïntegreerde optische ontvan- ger voorzien van een dergelijke polarisatiesplitser slechts worden gerealiseerd op basis van halfgeleidermateriaal zoals indiumfosfide (InP). Een polarisa- tiesplitser van de eerste soort gerealiseerd op InP is bijvoorbeeld bekend uit
20 referentie [3]. Deze bekende polarisatiesplitser maakt gebruik van de polarisa- tie-afhankelijke invloed van een metaallaag op de propagatie van de geleide modi in een richtkoppel-struktuur. Een dergelijke van een metaallaag voorzie- ne richtkoppel-struktuur stelt echter strenge eisen aan de fabricage-technolo- gie, en biedt extra complicaties bij de vervaardiging ervan. In een hierop
25 gebaseerde polarisatiesplitser leidt de aanwezigheid van de metaallaag tot ongewenste extra dempingen van erin propagerende lichtsignalen. In een niet tijdig gepubliceerde octrooiaanvraag, t.w. referentie [4], is een polarisatiesplit- ser beschreven, welke zeer goed realiseerbaar is op InP en de genoemde

nadelen van de uit referentie [3] bekende polarisatiesplitser niet bezit. Deze bekende polarisatiesplitser, welke als een soort mengvorm van de beide aangeduide soorten polarisatiesplitters kan worden beschouwd, bestaat uit een modusomzetter met een periodieke structuur, waarin een der beide polarisa-

5 ties naar een andere orde van geleide modus wordt omgezet, in combinatie met een asymmetrische Y-junctie. Beide bekende op InP realiseerbare polarisatiesplitters hebben echter het bezwaar, dat zij een sterk golflengte-afhankelijk gedrag vertonen.

De splitters van de hierboven aangeduide tweede soort hebben ten

10 opzichte van die van de eerste soort grote voordelen. Ze zijn namelijk minder golflengte-gevoelig en vereisen minder strenge fabricage-toleranties. Bovendien vertonen ze een zeer lage demping, en een zeer lage lichtsignaalreflectie in het ingangskanaal, hetgeen van belang is vooral bij coherente detectie onder toepassing van smalbandige lasers. Aangezien het materiaal indiumfosfide niet

15 dubbelbrekend is, is een realisatie van een polarisatiesplitser overeenkomstig die in lithiumniobaat of die in poolbaar polymeer niet mogelijk. In dunne lichtgeleidende lagen van niet-dubbelbrekende materialen kunnen echter toch golfgeleiders worden gerealiseerd, welke voor de beide polarisaties een verschillend propagatie-gedrag bezitten, en waarin derhalve dubbelbreking

20 optreedt. Dergelijke dubbelbreking is bekend onder de namen golfgeleider-dubbelbreking, geometrische dubbelbreking of vorm-dubbelbreking. Zij ontstaat doordat golfgeleiders aan het oppervlak van een substraat worden gemaakt. De polarisatie waarbij de dominante elektrische veldcomponent loodrecht op het oppervlak van het substraat staat, i.c. de TM-polarisatie,

25 ondervindt hierdoor een andere propagatie dan de polarisatie evenwijdig aan dat oppervlak, i.c. de TE-polarisatie. Dit effect kan worden beïnvloed, ofwel, zoals bekend uit referentie [5], door het aanbrengen van een geschikte laag

boven of onder de golfgeleider in een planaire golfgeleidende laag, ofwel, zoals bekend uit referentie [6], door het aanbrengen van een samengestelde lagenstructuur ("superlattice"), waarbij door specifieke keuze van de lagenstructuur kanaalvormige golfgeleiders worden verkregen, die selectief zijn
 5 voor een van beide polarisatiemodi. Uit referentie [7] zijn polarisatie-manipulerende 3-poort en 4-poort componenten bekend waaronder een polarisatiesplitser van de tweede soort, waarin een dergelijke, op een geschikt gekozen lagenstructuur gebaseerde vorm-dubbelbreking wordt toegepast. Een 3-poort component zoals een polarisatiesplitser omvat twee golfgeleiders met kernen
 10 van verschillend materialen en met verschillende effectieve brekingsindices. In een overgangssectie, tussen een eerste golfgeleidende sectie en een tweede golfgeleidende sectie, overlappen de kernen elkaar en heeft een van de golfgeleider-kernen een adiabatische verloopend uiteinde (eng.: 'taper'). In de overgangssectie divergeren de beide golfgeleiders adiabatisch tot fysisch
 15 gescheiden en optisch ontkoppelde golfgeleiders in de tweede golfgeleidende sectie. Geïntegreerde optische componenten, waarin een dergelijke, op een geschikt gekozen lagenstructuur gebaseerde vorm-dubbelbrekendheid wordt toegepast, hebben echter het nadeel, dat de vervaardiging ervan nogal bewerkelijk is; en dit niet alleen door het aantal noodzakelijke vervaardigingsstap-
 20 pen, maar ook door het aantal toe te passen verschillende materialen.

B. Samenvatting van de uitvinding

Met de uitvinding wordt beoogd te voorzien in een structuur voor een polarisatie-manipulerende component, meer in het bijzonder een polarisaties-
 25 splitsende component van de hierboven genoemde tweede soort, welke realiseerbaar is op basis van niet-dubbelbrekende materialen zoals indiumfosfide en bovengenoemd nadeel niet bezit. Zij maakt daarbij gebruik van het feit, dat

in dunne lichtgeleidende lagen de nulde-orde modi van beide polarisaties weliswaar geringe verschillen in propagatie vertonen, deze verschillen in propagatie voor de eerste-orde modi echter, en meer algemeen voor hogere orde modi, relatief veel groter zijn. Bijgevolg is in een bimodale, meer
 5 algemeen een multimodale golfgeleider de mate van structuurdubbelbreking voor eerste en hogere orde modi veel sterker, dan voor de nulde orde modi. Een optische component volgens de aanhef van conclusie 1 heeft daartoe volgens de uitvinding het kenmerk van conclusie 1.

In een voorkeursuitvoering zijn alle van de component deeluitmakende
 10 golfgeleiders van het dijk-type (eng.: ridge type).

De optische component volgens de uitvinding heeft de volgende voordelen:

- voor de vervaardiging van de component zijn geen andere fabricage-
 stappen nodig, dan die voor de vervaardiging van kanaalvormige golfgeleiders
 15 op het toe te passen integratie-materiaal zijn vereist;
- er bestaat een goede integreerbaarheid met andere componenten;
- bij toepassing van dijk-type golfgeleiders is voor de vervaardiging van de hele component slechts een ets-stap nodig;
- door de toepassing van het 'mode sorting effect' in asymmetrische Y-
 20 juncties

+ is de werking van de component niet kritisch afhankelijk van de verschillende parameters (zoals hoeken, breedten van de kanaalvormige golfgeleiders), zodat de component ruime fabricage-toleranties heeft;

- 25 + is de component bruikbaar in een breed golflengte-gebied;
- + heeft de component lage demping en reflectie; en
- + heeft de component een stabiele werking in variërende

bedrijfsomstandigheden.

C. Referenties

- [1] J.J.G.M. van der Tol and J.H. Laarhuis: "A polarisation splitter on
5 lithium niobate using titanium diffusion only", IEEE J. Lightw.
Techn., vol. 9, no. 7, July 1991, pp. 879-886;
- [2] EP-A-0444721;
- [3] P. Albrecht, et al.: "TE/TM mode splitters on InGaAsP/InP", IEEE
Phot. Techn. Lett., vol. 2, no. 2, February 1990, pp. 114,115;
- 10 [4] Europese Octrooiaanvraag nr. 92201338.8 (van aanvrager; nog niet
gepubliceerd);
- [5] J. Aarnio, et al.: "Birefringence control and dispersion characteristics of
silicon oxynitride optical waveguides", Electronics Letters, Vol. 27, No.
25, 5th December 1991, pp. 2317, 2318;
- 15 [6] Y. Suzuki, et al.: "Polarization mode selective channel waveguides in an
InGaAs/InP disordered superlattice", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 26,
24 December 1990, pp.2745-2747;
- [7] EP-A-0389172.

20 D. Korte beschrijving van de tekening

De uitvinding zal hierna worden toegelicht aan de hand van een
tekening, welke de volgende figuren omvat:

- FIG. 1a toont schematisch een dwarsdoorsnede profiel van een golfgelei-
der van het dijk-type;
- 25 FIG. 1b schetst voor de in FIG. 1a getoonde golfgeleider van het dijk-
type het verloop van genormeerde propagatieconstanten van elk
der polarisaties in de nulde en eerste orde geleide modus als

functie van de dijkbreedte;

FIG. 2a toont schematisch op schaal een bovenaanzicht van een uitvoering van de polarisatiesplitser volgens de uitvinding;

FIG. 2b toont het propagatie-verloop van een TE-sigitaal door de golfgeleiderstructuur weergegeven in FIG. 2a;

FIG. 2c toont het propagatie-verloop van een TM-sigitaal door de golfgeleiderstructuur weergegeven in FIG. 2a.

E. Beschrijving van een uitvoeringsvoorbeeld

10 In polarisatie-manipulerende componenten, zoals een polarisatiesplitser, welke zijn gebaseerd op het zo geheten 'mode sorting effect', wordt gebruik gemaakt van verschil in propagatie-voorkeur van de polarisaties voor de twee onderling in propagatie-constante verschillende uitgangskanalen van een asymmetrische Y-junctie. Een dergelijke propagatie-voorkeur berust op

15 het feit, dat de asymmetrie voor de beide polarisaties verschillend van teken is, hetgeen kan worden bereikt door toepassing van dubbelbreking in althans een van de uitgangskanalen. Zoals bekend kan een dergelijke dubbelbreking worden bereikt niet alleen door de keuze van een dubbelbrekend materiaal, maar ook door een speciale structuur, i.c. lagenstructuur, van een aantal

20 geschikt gekozen niet dubbelbrekende materialen voor de golfgeleiders. Een dergelijke dubbelbreking tengevolge van de structuur van een golfgeleider wordt hierna aangeduid met structuur-dubbelbreking of golfgeleider-dubbelbreking. Deze treedt op bij golfgeleiders in dunne lagen, bijvoorbeeld aan het oppervlak van een substraat. Lichtpropagatie in dergelijke dunne lagen is in

25 het algemeen polarisatiegevoelig. De polarisatie waarbij de dominante elektrische veldcomponent loodrecht op het oppervlak staat, i.e. de TM-polarisatie, ondervindt hierdoor een andere propagatie dan de polarisatie evenwijdig aan

het oppervlak, i.e. de TE-polarisatie. De polarisatiegevoeligheid kan, zoals bekend en hierboven aangeduid, worden beïnvloed door een speciale lagenstructuur direct boven (of onder) het vlak, waarin de eigenlijke lichtpropagatie plaatsvindt. Dit is mogelijk, omdat het evanescente veld, dat wil
5 zeggen de uitlopers van het optische/electromagnetische veld behorende bij een geleide modus van een in de dunne laag propagerend lichtsignaal, verder doorloopt in de richting waarin de dominante elektrische veld-component staat. Voor de TM-polarisatie is deze richting de normale, dat wil zeggen loodrecht op het substraat, terwijl die voor de TE-polarisatie juist de laterale
10 richting is. Bij de bekende techniek wordt door geschikte keuze van een lagenstructuur de beïnvloeding van de polarisatiegevoeligheid derhalve gezocht in een richting vertikaal op het substraat, hetgeen de vervaardiging van hierop gebaseerde optische componenten uiteraard compliceert. Daarbij wordt steeds gezocht naar mogelijkheden voor vergroting van de structuur-
15 dubbelbreking door verdere vergroting van de verschillen in propagatie van de nulde-orde modi van de polarisaties. In kanaalvormige geleiders in dunne lichtgeleidende lagen blijken echter de eerste-orde modi van de polarisaties dusdanig grote verschillen in propagatie te vertonen, dat daarmee een asymmetrische Y-junctie kan worden gerealiseerd met een voldoende grote asym-
20 metrie voor een polarisatie-splitsend effect. Dit wordt hierna toegelicht. Bena- drukt zij daarbij, dat, hoewel de beschrijving hierna slechts bij wijze van voorbeeld is beperkt tot 'ridge'-type kanaalstructuren op basis van indium- fosfide (InP), de uitvinding realiseerbaar is met elk in de geïntegreerde optica gangbaar type (e.g. 'ridge'-type, 'buried' type, 'strip loaded' type) kanaalstruc-
25 tuur in lichtgeleidende lagen van niet-dubbelbrekende materialen.

In FIG. 1a is schematisch een dwarsdoorsnede-profiel weergegeven van een dijkvormige golfgeleider op basis van indiumfosfide (InP). Tussen een

substraat 11 en een bovenlaag 12, beide van InP, bevindt zich een lichtgeleidende laag 13, de zogenaamde quarternaire laag van InGaAsP van dikte t . De bovenlaag 12 vertoont plaatselijk over de lengte van de geleider een dijkvormige verhoging 12.1 met hoogte h en breedte w , welke bijvoorbeeld, 5
uitgaande van een bovenlaag met een oorspronkelijke dikte H , door gedeeltelijk weg-etsen verkregen is. Zoals bekend bewerkstelligt een dergelijke verhoging 12.1 bij geschikte keuze van de afmetingen (h , H , w , en t) een zijdelingse begrenzing voor een zich in de lichtgeleidende laag voortplantende lichtgolf, zodat een lichtgeleidend kanaal ontstaat. Uitgaande van geschikt 10
gekozen t , H en h blijkt variatie van de breedte w lichtgeleidende kanalen op te leveren, welke monomodaal, bimodaal, trimodaal, etc. zijn, d.w.z. geschikt zijn voor het geleiden van respectievelijk één, twee, drie, etc. geleide modi van een lichtsignaal met een gegeven golflengte. Dit wordt in deze beschrijving uitgedrukt door te zeggen dat een lichtgeleidend kanaal een geleide- 15
modaliteit bezit van de orde één, twee, drie, etc.. Zo uitgedrukt heeft een monomodaal kanaal een geleide-modaliteit van de orde één, een bimodaal kanaal een geleide-modaliteit van de orde twee, etc. Of een lichtgeleidend kanaal bij een gegeven breedte mono-, bi-, of tri-modaal, etc. is echter ook nog afhankelijk van de polarisatie van de geleide modi. Om het gedrag van de 20
propagatieconstante β voor de verschillende geleide modi in een dergelijke geleider als functie van de dijkbreedte te kunnen vergelijken wordt op de propagatieconstante een gebruikelijke normering toegepast. Volgens deze normering is de genormeerde propagatieconstante b voor de polarisatie TX en de i -de orde geleide modus als functie van de dijkbreedte w als volgt gede- 25
finieerd:

$$b(TX,i,w) = \{(\beta(TX,i,w)\lambda/2\pi)^2 - N_{\perp}^2(TX)\} / \{N_{\parallel}^2(TX) - N_{\perp}^2(TX)\} \quad (1)$$

Hierin is $\beta(TX,i,w)$ de propagatieconstante van de polarisatie TX (i.e. TE of TM) in de i-de orde geleide modus (met $i=0$ voor de nulde of 1 voor de eerste orde) als functie van de dijkbreedte w , is λ de golflengte van het lichtsignaal, zijn $N_{\perp}(TX)$ en $N_{\parallel}(TX)$ de effectieve brekingsindices respectievelijk naast en onder de dijk voor de polarisatie TX. In FIG. 1b is het kwalitatieve verloop geschetst van de genormeerde propagatieconstante b van elk der polarisaties zowel in de nulde als in de eerste orde geleide modus als functie van de dijkbreedte bij gegeven (constante) t , H en h . In de figuur corresponderen de krommen c_1 (stippellijn) en c_2 (getrokken lijn) met de genormeerde propagatieconstante b respectievelijk voor (TX=TM, $i=0$) en (TX=TE, $i=0$), terwijl de krommen c_3 (streep/stippellijn) en c_4 (onderbroken streeplijn) corresponderen met de genormeerde propagatieconstante b respectievelijk voor (TX=TM, $i=1$) en (TX=TE, $i=1$). Het verloop van de krommen c_1 t/m c_4 laat zien dat een geleider met een dijkbreedte $w \leq w_1$ (ca. $3,2 \mu m$) monomodaal is voor beide polarisaties en een geleider met een dijkbreedte $w \geq w_2$ (ca. $4,4 \mu m$) bimodaal is voor beide polarisaties; en voorts, dat er eenvoudig een tweetal dijkbreedten w_3 en w_4 is te kiezen, welke respectievelijk corresponderen met een monomodale en een bimodale golfgeleider, zodanig dat voor de genormeerde propagatieconstanten de relatie geldt:

20

$$b(TM,0,w_3) < b(TM,1,w_4) \quad \text{en} \quad b(TE,1,w_4) < b(TE,0,w_3) \quad (2)$$

Een dergelijk paar van dijkbreedten is bijvoorbeeld $w_3=2,0 \mu m$ en $w_4=6,7 \mu m$, waarvoor de beide ongelijkheden in de relatie (2) in de figuur zijn aangeduid respectievelijk met de verschilpijlen p_1 en p_2 . Opgemerkt wordt dat de genormeerde propagatieconstanten voor de nulde orde geleide modi van de bimodale geleider met breedte $w=w_4$ op een veel hoger niveau liggen (zie de

25

snijpunten van de lijn $w=w_4$ met de curven c_1 en c_2 in FIG. 1b), zodat de ongelijkheden in de relatie (2) nog zijn aan te vullen tot relaties (2.1) en (2.2):

$$b(TM,0,w_3) < b(TM,1,w_4) < b(TM,0,w_4) \quad (2.1)$$

5 en

$$b(TE,1,w_4) < b(TE,0,w_3) < b(TE,0,w_4) \quad (2.2)$$

Paren van dergelijke krommen als (c_1, c_2) en (c_3, c_4) bestaan ook voor hogere orde modi ($i > 1$). Bij voortzetting van FIG. 1b voor toenemende w , i.e. voor
10 kanalen met een geleide-modaliteit van toenemende orde k , zouden steeds meer van dergelijke paren van krommen (c_{2k+1}, c_{2k+2}) in de figuur verschijnen, die onderling echter steeds verder uiteen liggen. Dit betekent, dat er steeds paren van dijkbreedten (w_3', w_4') te vinden zijn, waarvoor relaties (2.1)' en (2.2)' gelden, welke de gegeneraliseerde zijn van de relaties (2.1) en (2.2):

15

$$b(TM,i,w_3') < b(TM,j,w_4') < b(TM,i,w_4') \quad (2.1)'$$

en

$$b(TE,j,w_4') < b(TE,i,w_3') < b(TE,i,w_4') \quad (2.2)'$$

20 voor $0 \leq i < j$. Dat wil zeggen, dat het kanaal met de dijkbreedte w_3' een geleide-modaliteit bezit van tenminste de orde i , en het kanaal met de dijkbreedte w_4' een geleide-modaliteit van tenminste de orde j ($> i$), waarvoor voor de genormeerde propagatieconstanten van de betreffende geleide modi voor de beide polarisaties in die kanalen de relaties (2.1)' en (2.2)' gelden.

25 De uitvinding past een dergelijk tweetal golfgeleidende kanalen, waarvoor de relaties (2.1) en (2.2), of meer gegeneraliseerd de relaties (2.1)' en (2.2)' gelden, toe als divergerende uitgaande kanalen van een asymmetrische vertak-

king in een Y-junctie. Daarbij wordt aan het begin van de asymmetrische vertakking een signaal, dat beide polarisaties kan bevatten, van de eerste-orde, en in het gegeneraliseerde geval van de $(i+j)$ -de orde geleide modus aangeboden. Op zich is een dergelijke asymmetrische vertakking niet zonder meer
 5 bruikbaar als polarisatiesplitser, aangezien in praktische situaties doorgaans lichtsignalen als nulde-orde geleide modi worden aangeboden en afgenomen. Daartoe moeten in de in- en uitgangssecties de nodige polarisatieongevoelige modusomzettingen kunnen plaatsvinden. De eigenlijke polarisatiesplitsing van TE- en TM-signaalcomponenten vindt derhalve plaats uitsluitend op het
 10 niveau van de aangeboden eerste-orde, respectievelijk de aangeboden $(i+j)$ -de orde geleide modi. De hierna volgende beschrijving van het uitvoeringsvoorbeeld is eenvoudigheidshalve en slechts bij wijze van voorbeeld beperkt tot de twee laagste orde modi ($i=0, j=1$), maar geldt mutatis mutandis evenzeer voor de hogere orde modi.

15

In FIG. 2a is schematisch in een bovenaanzicht een golfgeleiderpatroon weergegeven van een polarisatiesplitser gebaseerd op een asymmetrische vertakking, waarin van de twee vertakkende kanalen het ene kanaal als monomodaal en het andere als bimodaal is uitgevoerd en waarbij de propaga-
 20 tieconstanten van de beide kanalen voldoen aan de relaties (2.1) en (2.2). Het golfgeleiderpatroon is als dijkvormig patroon gerealiseerd overeenkomstig FIG. 1a. Het golfgeleiderpatroon is opgebouwd uit adiabatisch op elkaar aansluitende golfgeleidende secties A, B, C, D, en E, t.w. een ingangssectie A, een eerste koppelsectie B, een polarisatie-splitsende sectie C, een tweede
 25 koppelsectie D en een uitgangssectie E. De ingangssectie A omvat een modusomzetter gevormd door asymmetrische Y-junctie met twee geleiders 21 en 22, welke beide monomodaal zijn voor beide polarisaties TE en TM, welke

geleiders convergeren van buiten het gebied, waar ze als ontkoppeld kunnen worden beschouwd, tot een bimodale stam aan de ingang van de koppelsectie B. Daarbij heeft de geleider 22 voor beide polarisaties een iets grotere propagatieconstante, bijvoorbeeld zoals in de figuur tengevolge van een iets grotere dijkbreedte, dan die van de geleider 21, en vormt de geleider 21 de eigenlijke ingangsgeleider voor een inkomend lichtsignaal (pijl I), terwijl de geleider 22 een dummy-geleider is. De koppelsectie B bestaat uit een verloopstuk 23 voor de adiabatische overgang van een bimodale geleider naar een gesplitste structuur van de polarisatie-splitsende sectie C. Het verloopstuk 23 heeft daartoe naar de sectie C toe een geleidelijk toenemende dijkbreedte. De hoek waaronder het verloopstuk 23 zich verbreedt, kan gelijk worden gekozen aan die in de sectie C, maar is bij voorkeur groter, zoals getekend. De polarisatie-splitsende sectie C omvat twee divergerende golfgeleiders, een eerste monomodale golfgeleider 24, en een tweede bimodale golfgeleider 25. De golfgeleiders 24 en 25 divergeren tot volledige ontkoppeling. De uitgangsectie E omvat twee monomodale uitgangsgeleiders 26 en 27 respectievelijk voor uitgaande lichtsignalen (pijlen O1 en O2). De uitgangsgeleider 27 en een verdere monomodale geleider 28 vormen samen de divergerende takken van een asymmetrische Y-junctie met een bimodale stam, welke als modusomzetter fungeert. Daarbij heeft de geleider 28 voor beide polarisaties een iets grotere propagatieconstante, bijvoorbeeld zoals in de figuur tengevolge van een iets grotere breedte, dan die van de geleider 27. De geleider 28 is een dummy-geleider, welke eindigt op een afstand van de geleider 27, waar de geleiders 27 en 28 als ontkoppeld kunnen worden beschouwd. De koppelsectie D bestaat uit een verloopstuk 29 voor de adiabatische versmalling van de bimodale golfgeleider 25 naar de bimodale geleidende stam van de asymmetrische Y-junctie in de uitgangsectie E. Opgemerkt zij, dat in dit uitvoeringsvoorbeeld de lengte van

de bimodale stam van de asymmetrische Y-juncties in de ingangs- en uitgangsecties in beide gevallen nul is gekozen.

Bij de dimensionering van de vertakkende geleiders in de polarisatie-splittende sectie C zijn voor de monomodale geleider 24 en de bimodale geleider 25
 5 dijkbreedten w_{24} en w_{25} gekozen, welke een paar vormen zoals het hierboven genoemde paar $\{w_3, w_4\}$, zodat voor de betreffende genormeerde propagatieconstanten de relaties (3.1) en (3.2) gelden:

$$b(TM,0,w_{24}) < b(TM,1,w_{25}) < b(TM,0,w_{25}) \quad (3.1)$$

10 en

$$b(TE,1,w_{25}) < b(TE,0,w_{24}) < b(TE,0,w_{25}) \quad (3.2)$$

De polarisatiesplitser met een golfgeleiderpatroon overeenkomstig FIG. 2a werkt als volgt: Een nulde orde geleide modus van de TE-polarisatie, i.e. een
 15 TE_{00} -signaal inkomend (volgens pijl I) via de ingangsgeleider 21, zal tengevolge van de nabijheid van de dummy geleider 22 worden omgezet in een eerste orde geleide modus van dezelfde polarisatie, i.e. een TE_{01} -signaal, en als zodanig verder propageren en via de adiabatische overgang in verloopstuk 23 ongestoord de splitsing in de overgang van de sectie B naar de sectie C
 20 bereiken. Daar kiest het TE_{01} -signaal het kanaal met de op een na hoogste propagatieconstante voor die polarisatie, en dat is volgens de relatie (3.2) de geleider 24. Aangezien de geleider 24 monomodaal is, zal het signaal verder propageren als TE_{00} -signaal via de geleider 24 en de uitgangsgeleider 26 van de uitgangssectie E in de richting van pijl O1. Ook een nulde orde geleide
 25 modus van de TM-polarisatie, een TM_{00} -signaal, eveneens propagerend via de ingangsgeleider 21 wordt eerst omgezet in een eerste orde geleide modus, een TM_{01} -signaal, propageert als zodanig verder via het verloopstuk 23, en zal

aangekomen bij de splitsing in de overgang van de sectie B naar de sectie C verder propageren via het kanaal met de op een na hoogste propagatieconstante voor die polarisatie. Dit kanaal is nu echter, volgens de relatie (3.1), de bimodale geleider 25. Derhalve zal het TM_{01} -signaal verder propageren als eerste-orde geleide modus via de geleider 25 en het verloopstuk 29 van de koppelsectie D. Bij de zich vertakkende geleiders 27 en 28 van de asymmetrische Y-junctie in de uitgangssectie E propageert een eerste-orde modus signaal verder in het kanaal met de laagste propagatieconstante, i.c. de monomodale geleider 27, waarbij het wordt omgezet in een nulde-orde geleide modus signaal.

Derhalve zal een via de monomodale ingangseleider 21 inkomend signaal (pijl I) met een onbekende polarisatie, dat in het algemeen een TE_{00} -component en een TM_{00} -component bevat van willekeurig relatieve sterkte en een willekeurig relatieve fase, worden gesplitst in een via geleider 26 uittredend signaal (pijl O1) dat (vrijwel) uitsluitend de TE_{00} -component bevat, en een via geleider 27 uittredend signaal (pijl O2) dat (vrijwel) uitsluitend de TM_{00} -component bevat.

Opgemerkt wordt dat een nulde-orde geleide modus signaal (TE of TM), dat eventueel propageert in de sectie B in de richting van de overgang naar de sectie C, het kanaal kiest van de grootste propagatieconstante, en dat is volgens de relaties (3.1) en (3.2) voor beide polarisaties de bimodale geleider 25. Aangekomen op de overgang van de koppelsectie D naar de Y-junctie van de uitgangssectie E kiest het eveneens het kanaal met de grootste propagatieconstante, i.c. de dummy geleider 28. Dit betekent, dat bijvoorbeeld tengevolge van een niet optimaal ontwerp de modusomzetting in de ingangssectie A niet volledig is, in de component het niet omgezette deel van het signaal van het wel omgezette deel wordt afgesplitst, zodat weliswaar signaalvermogen

verloren gaat, maar de niet-optimale omzetting nauwelijks of geen 'verontreinigend' effect heeft op de splitsresultaten in de geleiders 26 en 27.

Voorbeeld:

- 5 In FIG. 2a is de hierboven beschreven structuur reeds op schaal weergegeven. De lengte van de structuur is langs een z-as in mm weergegeven, terwijl de breedte van de structuur langs een x-as in μm is weergegeven. Van deze structuur is met behulp van een simulatiemethode welke algemeen bekend is onder de naam "bundel-propagatie-methode" (eng.: beam propagation method),
- 10 het polarisatie-splitsende gedrag gesimuleerd. Bij deze simulatie zijn de volgende data gebruikt:

golflengte (λ) van het lichtsignaal: $1,55\mu\text{m}$

brekingsindices: InP: 3,1754, en InGaAsP: 3,4116

dikte (t) van de lichtgeleidende laag 13 (InGaAsP): 460nm

- 15 dikte (H-h) van de bovenlaag 39 (InP): 250nm

dijkhoogte (h) boven de bovenlaag: 250nm

- Sectie A: lengte: $1180\mu\text{m}$; breedte van de dijk 21: $2,0\mu\text{m}$; breedte van de dijk 22: $3,2\mu\text{m}$; de naderingshoek tussen de dijken 21 en 22: $5,2\text{mrad}$ ($=0,3^\circ$);
- 20 Sectie B: lengte: $200\mu\text{m}$; breedte van de dijk 63: toenemend van $5,2\mu\text{m}$ tot $8,7\mu\text{m}$;
- Sectie C: lengte: $3500\mu\text{m}$; breedte van de dijk 24: $2,0\mu\text{m}$; breedte van de dijk 25: $6,7\mu\text{m}$; de verwijderingshoek tussen de dijken 24 en 25: $17,5\text{mrad}$ ($=1^\circ$);
- 25 Sectie D: lengte: $200\mu\text{m}$ in breedte afnemend van $6,7\mu\text{m}$ tot $3,2\mu\text{m}$;
- Sectie E: lengte: $1180\mu\text{m}$; breedte van de dijken 26 en 27: $2,0\mu\text{m}$;

breedte van de dijk 28: $3,2\mu\text{m}$; de verwijderingshoek
tussen de dijken 27 en 28: $5,2\text{mrad}$.

In FIG. 2b is het propagatie-verloop weergegeven in het geval het in sectie A
inkomende lichtsignaal (pijl I) een signaal is, dat uitsluitend de TE-polarisatie
5 bevat. Resultaat: 90% van het TE-signaal treedt uit volgens de pijl O1 en
1,4% volgens de pijl O2; demping: $-0,4\text{dB}$, en overspraak: -18dB .

In FIG. 2c is een dergelijk verloop weergegeven in geval het inkomende
signaal (pijl I) uitsluitend de TM-polarisatie bevat. Resultaat: 90% van het
TM-signaal treedt uit volgens de pijl O1 en 5% volgens de pijl O2; demping: -
10 $0,2\text{dB}$, en overspraak: $-12,8\text{dB}$.

In de hiervoor beschreven polarisatiesplitser hebben de constituerende
golfgeleidende secties op grond van het tijdsomkeerinvariantie-principe een
gelijke maar omgekeerde werking voor lichtsignalen met een tegengestelde
propagatierichting. De splitser werkt derhalve voor signalen in tegengestelde
15 richting als polarisatie-'combiner' of -multiplexer, of als polarisatiefilter.

Worden aan de uitgangsgeleiders (26, 27 in FIG. 2a) tegengesteld aan de
richting van de pijlen O1 en O2 signalen met een zuivere polarisatie (i.e. een
zuiver TE-signaal volgens de pijl O1, en een zuiver TM-signaal volgens de
pijl O2) ingevoerd, dan treedt aan de ingangsgeleider (21 in FIG. 2a) het
20 gecombineerde signaal tegengesteld aan de richting van pijl I uit. Uit een
signaal met beide polarisatie-componenten (TE en TM) ingevoerd aan een uit-
gangsgeleider in een richting tegengesteld aan de pijl O1 of O2 zal de polari-
satie-component, welke niet past bij de betreffende uitgangsgeleider (i.e. TM
voor de uitgangsgeleider met pijl O1, en TE voor die met pijl O2) worden
25 weggefilterd, zodat aan de ingangsgeleider een zuiver TE- of TM-signaal
verschijnt.

F. Conclusies

1. Optische component voor het manipuleren van de polarisatie van lichtgolfsignalen, omvattende
 - een substraat, en
 - 5 een door het substraat gedragen lichtgolfgelidende dunne laag voorzien van
 - een eerste golfgelidende sectie insluitende een eerste kanaalvormige golfgelider,
 - een tweede golfgelidende sectie insluitende tweede en derde
 - 10 kanaalvormige golfgeliders welke optisch ontkoppeld en fysisch gescheiden zijn, en
 - een intermediaire golfgelidende sectie voor een adiabatische koppeling tussen de eerste en de tweede golfgelidende secties, insluitende een asymmetrische Y-vertakking voorzien van een eerste en een tweede, onder-
 - 15 ling divergerende, intermediaire kanaalvormige golfgeliders respectievelijk gekoppeld met de tweede en de derde golfgeliders van de tweede sectie, met het kenmerk, dat
 - de eerste intermediaire golfgelider een golfgeliderprofiel bezit corresponderend met een eerste geleide-modaliteit voor de propagatie van een eerste
 - 20 geleide modus voor elk van beide polarisaties, de tweede intermediaire golfgelider een golfgeliderprofiel bezit corresponderend met een tweede geleide-modaliteit van hogere orde dan de eerste geleide-modaliteit voor de propagatie van genoemde eerste geleide modus en een tweede geleide modus van hogere orde dan de eerste voor elk van beide polarisaties, waarbij het
 - 25 verschil van de propagatieconstante van genoemde eerste geleide modus in de eerste intermediaire golfgelider en de propagatieconstante van genoemde tweede geleide modus in de tweede intermediaire golfgelider voor de ene

polarisatie verschilt in teken van het verschil van de propagatieconstante van genoemde eerste geleide modus in de eerste intermediaire golfgeleider en de propagatieconstante van genoemde tweede geleide modus in de tweede intermediaire golfgeleider van de andere polarisatie.

5

2. Optische component volgens conclusie 1, met het kenmerk,
dat de eerste intermediaire geleider monomodaal is en de tweede
intermediaire geleider bimodaal is,

dat de kanaalvormige golfgeleiders van de eerste en tweede golfge-
10 leidende sectie monomodaal zijn,
dat de intermediaire sectie voorts een eerste koppelsectie omvat voor
een adiabatische koppeling van de eerste kanaalvormige golfgeleider van de
eerste golfgeleidende sectie met de intermediaire golfgeleiders, en een tweede
koppelsectie voor de adiabatische koppeling van de bimodale golfgeleider met
15 een der golfgeleiders van de tweede golfgeleidende sectie, en

dat tussen de eerste kanaalvormige golfgeleider en de eerste koppel-
sectie een eerste polarisatieongevoelige modusomzetter is opgenomen voor de
omzetting van een nulde-orde geleide modus in een eerste orde geleide
modus en vice versa, en tussen de tweede koppelsectie, waarmee de bimodale
20 golfgeleider is gekoppeld met een der golfgeleiders van de tweede golfge-
leidende sectie, een tweede polarisatieongevoelige modusomzetter is opgeno-
men voor de omzetting van een eerste-orde geleide modus in een nulde-orde
geleide modus en vice versa.

25 3. Optische component volgens conclusie 2 met het kenmerk, dat de
polarisatieongevoelige modusomzitters asymmetrische Y-juncties met een
bimodale stam en monomodale zich vertakkende golfgeleidende kanalen met

onderling verschillende propagatieconstanten zijn, waarbij het zich vertakkende kanaal met de laagste propagatieconstante rechtstreeks is gekoppeld met de betreffende monomodale geleider van de eerste dan wel de tweede golfgeleidende sectie.

5

4. Optische component volgens een der voorgaande conclusies met het kenmerk, dat de intermediaire golfgeleiders en de koppelsecties van het dijktype ('ridge type') zijn.

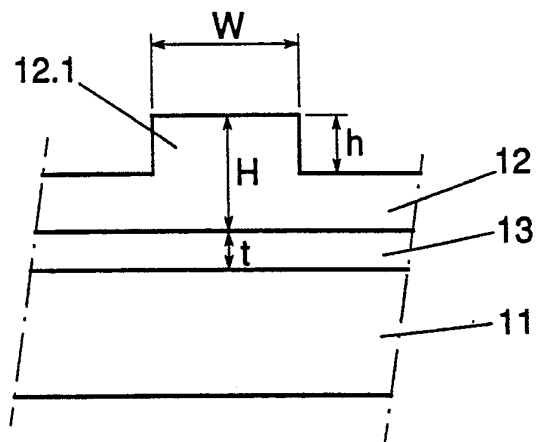


FIG. 1a

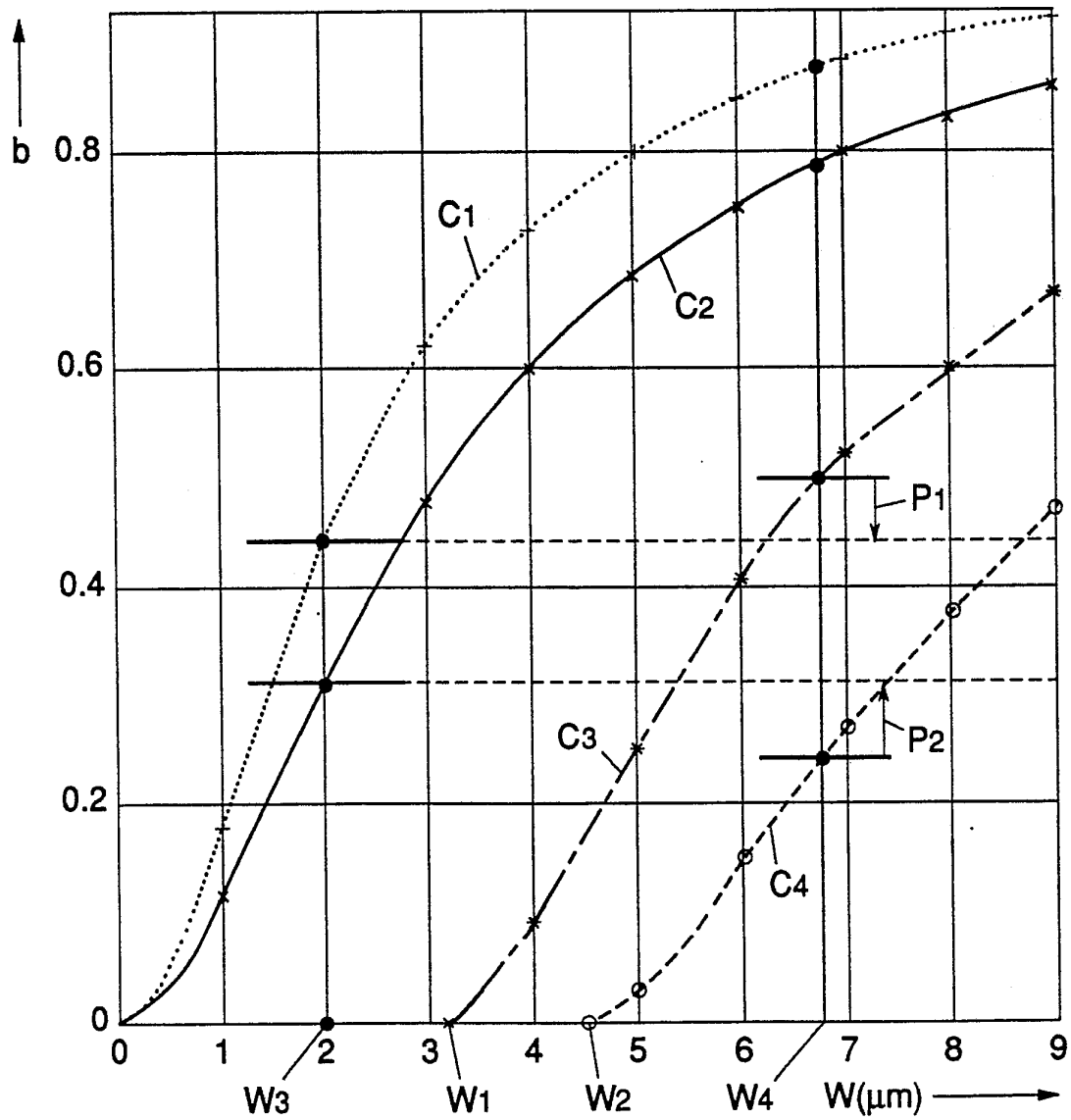


FIG. 1b

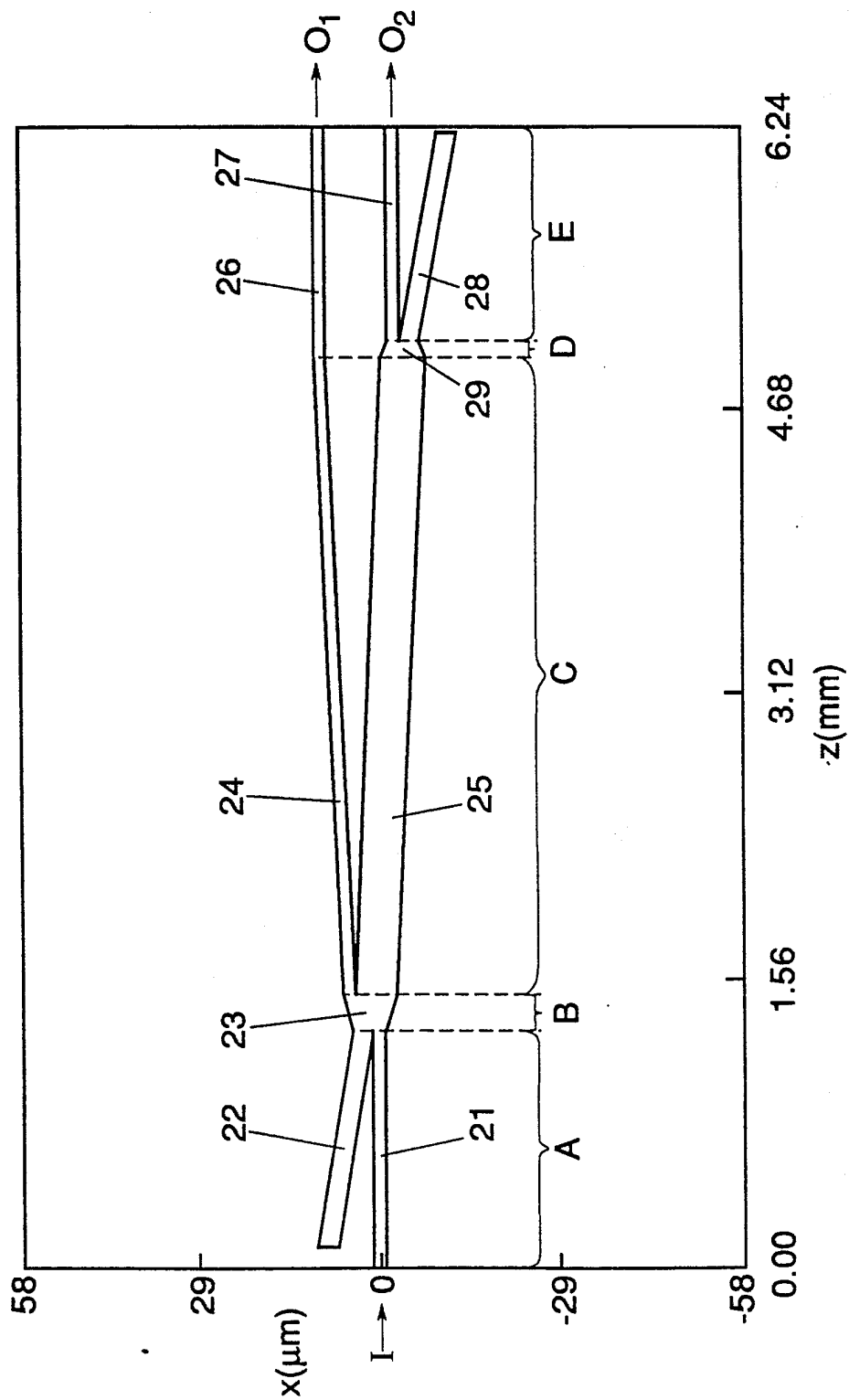


FIG. 2a

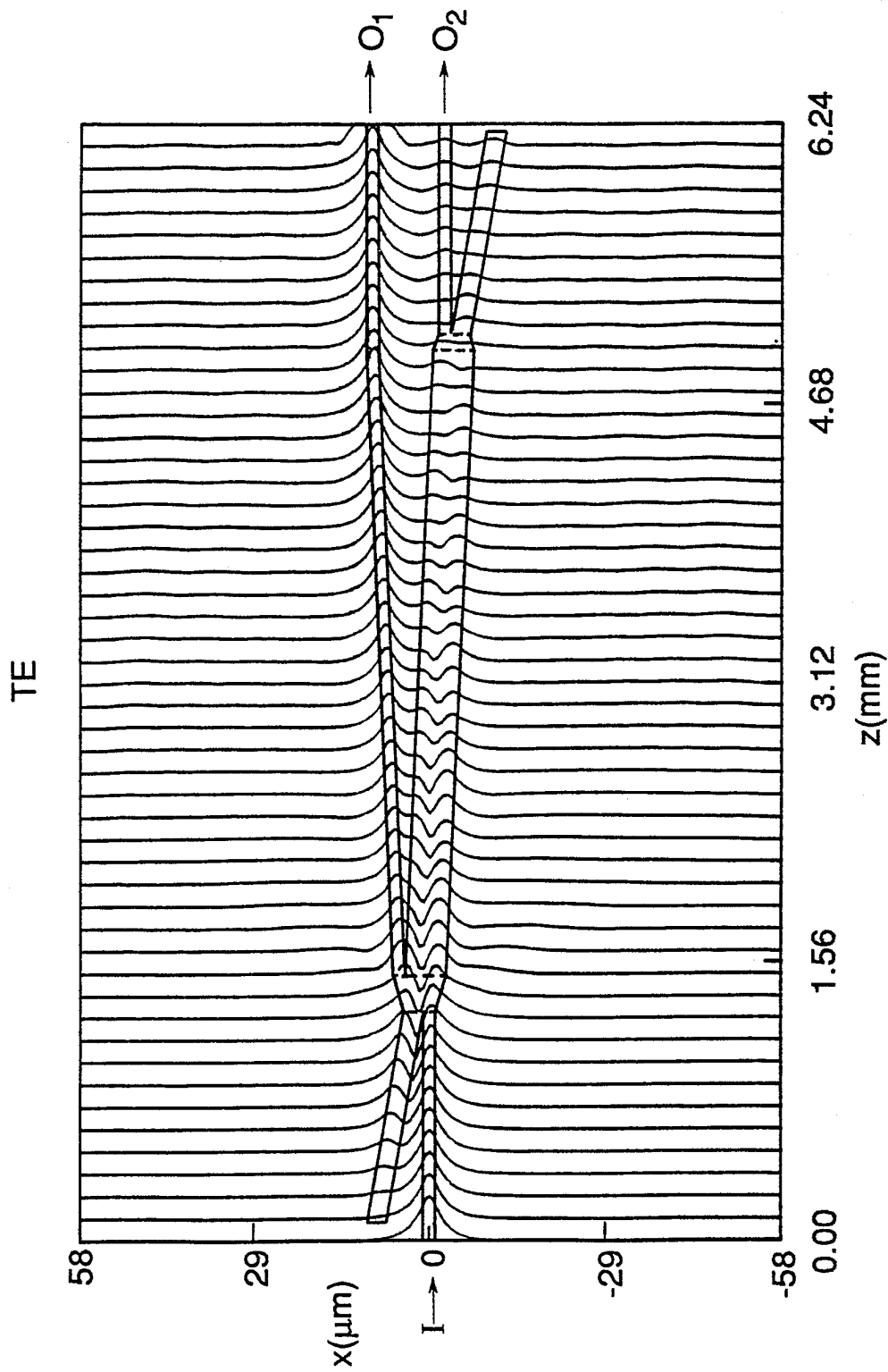


FIG. 2b

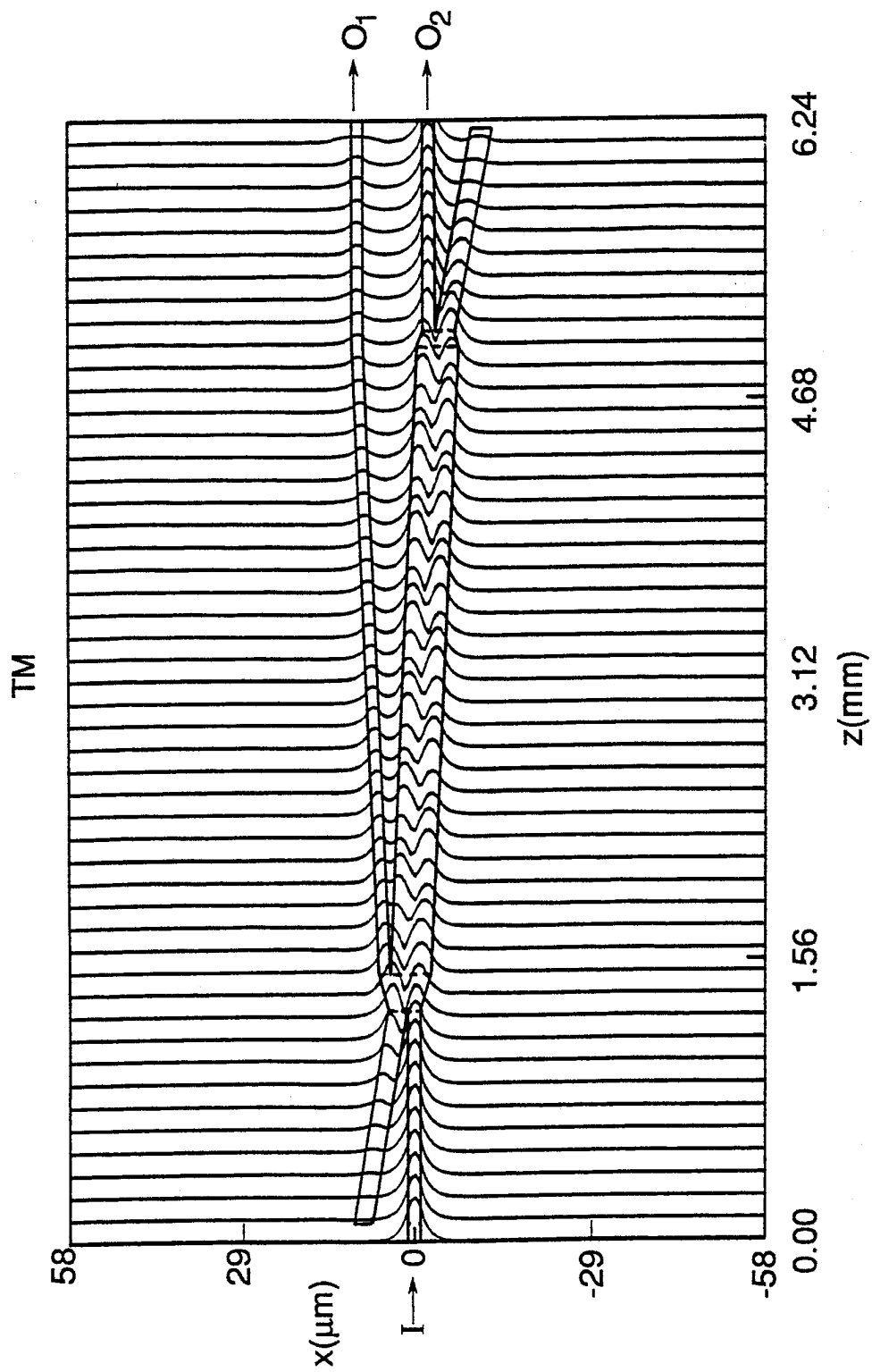


FIG. 2c