



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **302916**

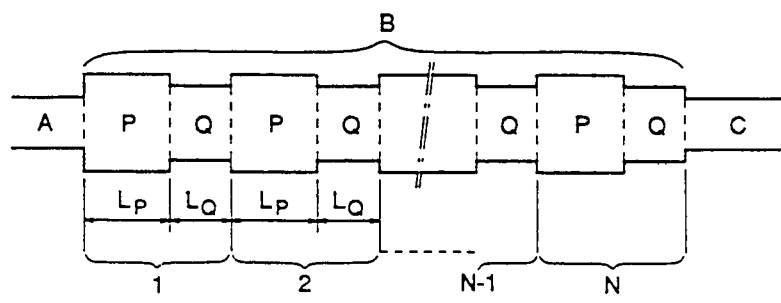
(13) B1

(51) Int Cl⁶ G 02 B 6/14, 6/12

Patentstyret

(21) Søknadsnr	921766	(86) Int. inng. dag og	
(22) Inng. dag	05.05.92	søknadsnummer	
(24) Løpedag	05.05.92	(85) Videreføringsdag	
(41) Alm. tilgj.	17.11.92	(30) Prioritet	16.05.91, NL, 9100852
(45) Meddelt dato	04.05.98		
(73) Patenthaver	Koninklijke PTT Nederland NV, Stationsweg 10, NL-9726 AC Groningen, NL		
(72) Oppfinner	Johannes Jacobus Gerardus Maria van der Tol, Zoetermeer, NL		
(74) Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, 0306 Oslo		

(54) Benevnelse	Modusomformer
(56) Anførte publikasjoner	EP A1 277427, EP 310174, US 4359260 IEE PROCEEDINGS A. PHYSICAL SCIENCE, MEASUREMENT & vol.132, nr.5, okt-85, STEVENAGE GB, s.277-286; R.C. YOUNGQUIST m.fl.: "All-fibre..."
(57) Sammendrag	Modusomformer for omforming av en fraksjon av én ledet modus for et optisk signal i en innkommende optisk bølgelederseksjon (A) til en andre ledet modus i en utgående bølgelederseksjon (C) ved hjelp av en periodisk kobling mellom begge ledede modi i en mellomliggende optisk bølgelederseksjon (B). Den mellomliggende seksjon (B) har en periodisk geometrisk som et resultat av en N-foldig periodisk sekvens av to lysledende underseksjoner (P, Q) innenfor en periode-lengde ($L_P + L_Q$). Sekvensen kan oppnås ved at man lar bølgelederprofilene for underseksjonene være forskjellige fra hverandre, fortrinnsvis som et resultat av forskjeller i bredde. Sekvensen kan også oppnås ved forskjøvet sammenføyning av de to underseksjoner med de samme bølgelederprofiler. Dette innebærer følgende fordeler: høy grad av integrerbarhet, mulighet for ko-integrering av laserlyskilde i en optisk seksjon av en koherent optisk mottager, samt oppnåelse av en ny integrert konstruksjon av en slik optisk seksjon, hvilken konstruksjon er fri for metalliserte elementer.



Oppfinnelsens bakgrunn

Oppfinnelsens område

- 5 Den foreliggende oppfinnelse vedrører en integrert optisk modusomformer for omforming av en fraksjon av en signalkomponent hos et optisk signal som brer seg i henhold til en første ledet modus, til en signalkomponent som brer seg i henhold til en andre ledet modus, omfattende en kanaltype
- 10 bølgeleder som omfatter en innkommende bølgeledende seksjon, en mellomliggende bølgeledende seksjon og en utgående bølgeledende seksjon, idet det i den mellomliggende bølgeledende seksjon finner sted en periodisk kobling mellom de to ledede modi av et optisk signal som brer seg i bølge-
- 15 lederen, idet periodelengden og antaller av perioder blir tilpasset den ønskede omformingsfraksjon.

Kjent teknikk

- 20 I forbindelse med en koherent optisk mottager, f.eks. en slik som kan benyttes i et koherent optisk nettverk, blir det vanligvis innlemmet en laser som lokalisolator. Lyset fra denne laser blir mikset med et optisk signal som mottas fra et slikt nettverk ved hjelp av mottageren. Fordi lys-
- 25 transmisjonen gjennom nettverket generelt ikke er polarisasjons-preserverende, vil polarisasjonen hos det mottatte optiske signal være udefinert. Det mottatte optiske signal blir derfor først splittet i to polarisasjonskomponenter TE og TM som deretter blir behandlet hver for seg. Dette ut-
- 30 føres ved miksing av lyset fra lokaloscillatoren enten direkte før eller direkte etter splitting. Denne teknikk er kjent ved betegnelsen polarisasjonsdiversitet. Dette innebærer imidlertid at lyset hos lokaloscillatoren også må inneholde begge polarisasjonskomponenter for å kunne ha mikse-
- 35 sekomponenter som i polarisasjon svarer til de to polarisasjonskomponenter hos det mottatte optiske signal. En laser som er standard i denne forbindelse og har en bølgelengde

for utsendt lys i nærheten av det infrarøde, vil imidlertid bare utsende TE-polarisert lys. For å oppnå den andre polarisasjonskomponent må det tas i betraktning vipningen av laseren gjennom en passende vinkel. I en integrert konstruksjon av den koherente optiske mottager hvor laseren er med-integrert, vil imidlertid vipning av laseren være problemfylt, om ikke upraktisk. Det blir derfor først nødvendig å omforme en del av nevnte TE-polarisert lys til TM-polarisert lys ved hjelp av en polarisasjonsomformer eller -roterer. Med en polarisasjonsomformer skal det forstås en innretning med hvilken en kjent del av en polarisasjonskomponent, TE eller TM i det optiske signal ved inngangen til innretningen blir omformet til den andre polarisasjonskomponent, henholdsvis TM eller TE ved utgangen med en vel definert fase relatert til den ene polarisasjonskomponent.

En polarisasjonsroterer er en slik type innretning, hvor imidlertid faseforskyvningen er ukontrollert. Slike TE/TM polarisasjonsomformere og -dreiere er kjent f.eks. fra referanser [1], [2] og [3] (se under overskriften referanser)

gir anvisning på en polarisasjonsomformer for optiske bølger, som er i stand til å omforme en hvilken som helst innpolarisasjon til en hvilken som helst utpolarisasjon. Denne kjente omformer omfatter en polarisasjons-dreier som er innlagt mellom to faseforskyvere. Både faseforskyverne og polarisasjons-dreieren er basert på elektrooptisk modifikasjon av utbredelsen av TE-komponenten og TM-komponenten. Den egentlige omforming av en fraksjon av den ene komponent til den annen komponent $TE \longleftrightarrow TM$ med identisk intensitet finner sted i polarisasjons-dreieren. I denne forbindelse blir det gjort bruk av en periodisk elektrodestruktur som er anordnet over en passende valgt lengde på toppen av en optisk bølgeleder, for derved å fremskaffe en periodisk kobling mellom de to polarisasjonskomponenter under bruk av passende valgte, justerbare styrespenninger.

Som et resultat av en gjentatt kobling av denne type er det mulig, avhengig av den valgte styrespenning, sykluslengde og antall av koblinger, å omforme en ønsket del av den ene

komponent til den annen. Polarisasjonsomformere kjent fra referansene [2] og [3] gjør også bruk av prinsippet med periodisk kobling mellom de to polarisasjonskomponenter i en optisk bølgeleder på basis av elektrooptiske virkninger ved hjelp av en periodisk elektrodestruktur. Alle de nevnte omformere gir en stor fordel hva angår elektrisk styring, og de vil følgelig kunne ha en bred anvendelse, selv i det ovenfor omtalte tilfelle. Imidlertid har de den ulempe at ved applikasjoner der en fiksert fraksjon alltid skal konverteres, vil en slik styrbarhet i virkeligheten være overflødig, og vil derfor gjøre en krets, for eksempel i form av den nevnte koherente optiske mottager, unødig komplisert og gjøre integrerbarheten av samme vanskelig.

Fra referanse [9] er det kjent en ytterligere type av modusomformere basert på en periodisk kobling mellom to ledete modi en optisk fiber. Den periodiske kobling oppnår man ved periodiske deformasjoner - med en passende, lysbølgelengde-avhengig støtlengde - hos et dobbeltbrytende monomodalt optisk fiber og av et bimodalt optisk fiber. Periodiske deformasjoner hos et dobbeltbrytende fiber fører til omforminger mellom to innbyrdes ortogonale polarisasjoner av den fundamentale modus, mens slike deformasjoner hos et bimodalt fiber bevirker polarisasjon som preserverer omformingene mellom den fundamentale modus og den første ordensmodus uavhengig av polarisasjon. Deformasjonene blir generert for eksempel ved å skyve en kam-kontruksjon (mekanisk eller piezoelektrisk) mot fiberen eller ved bruk av periodisk avstandsorienterte overflateakkustiske bølgetransdusere. De periodiske deformasjoner er slik at den optiske fiber viser etterfølgende subseksjoner som blir deformert og etterlater deler av fiberen intakt, mens hvert par av to påfølgende underseksjoner (dvs. en deformert og en intakt del) har en passende valgt lengde, periodelengden eller støtlengden, som er vesentlig for at en hvilken som helst omforming skal finne sted. Denne kjente teknikk er belemret med følgende ulemper. Polarisasjonsomforming har behov for

et anisotrop medium og er begrenset til fundamentale modi, idet en modusomforming er mulig mellom to modi av forskjellige orden med preservert polarisasjon alene, idet en modusomformer realisert ved et periodisk deformert bimodalt fiber for modusomformingen mellom to modi av forskjellige orden for en første polarisasjon samtidig utgjør en modusomformer for en polarisasjon som er ortogonal i forhold til den første polarisasjon, noe som innebærer at en slik omformer ikke er selektiv for et spesifikt par av ledete modi, dvs. spesifikk med hensyn til modusorden og polarisasjon, hvilken innebærer at det er nødvendig med spesielle organer for å kunne bevirke de nødvendige deformasjoner fra utsiden av den brukte fiber.

15 Sammenfatning av oppfinnelsen

Hensikten med den foreliggende oppfinnelse er å råde bot på den ovenfor omtalte ulempe. I den forbindelse gjøres det bruk av det forhold som er kjent fra den teori som har relasjon til glassfiberskjøter, f.eks. av den som er kjent fra referanse [4], at dersom det i en bølgeleder opptrer en brå diskontinuitet i bølgelederprofilen hos lederen, er det mulig at en kobling kan finne sted mellom en ledet modus i lederen oppstrøms i forhold til diskontinuiteten og en hvilken som helst ledet modus nedstrøms i forhold til nevnte. En kobling av denne type vil imidlertid være svak, og brøkdelen av omformingen av en modus til en ønsket modus er derfor liten. Denne brøkdel øker imidlertid dersom nevnte diskontinuitet blir gjentatt i bølgelederen med en syklus som er selektiv for det par av ledere som er involvert i omformingen.

Dersom det gjøres bruk av dette, skaffer oppfinnelsen en modusomformer av den innledningsvis angitte art som er karakterisert ved at den mellomliggende bølgeledende seksjon har en periodisk geometrisk struktur bestående av en periodisk sekvens av to bølgeledende underseksjoner i hver peri-

odelengde idet underseksjonene har geometriske strukturer, lengder, samt en sekvensiell anordning som er tilpasset det ønskede par av ledete modi.

- 5 Oppfinnelsen gjør det mulig å gi anvisning på en spesiell omformer med en ønsket omformingsfraksjon for hvert specifikt par av ledede modi, hvilket innebærer en innkommende og en utgående modus ved hjelp av passende valg av bølgelederprofilene for underseksjonene, av lengdene og antallet
- 10 av repetisjoner for underseksjonene, samt måten på hvilken underseksjonene føyer seg til hverandre. Omformingsprinsippet ifølge oppfinnelsen er bølgelengde-selektiv, idet selektiviteten øker med antallet økte repetisjoner. Oppfinnelsen passer meget godt for anvendelse i integrerte
- 15 komponenter. Den gjør det mulig å ko-integrere en lokal lyskilde på en enkel måte i en integrert konstruksjon av en optisk inn-seksjon hos en koherent optisk mottager basert på polarisasjonsdiversitet.
- 20 Referanse [8] omtaler en annen spesifikk polarisasjonsdreier basert på en bølgeleder av ribbetypen, hvori en periodisk asymmetrisk forstyrrelse fremskaffes ved hjelp av en periodisk asymmetrisk belastning av ribben over en viss koblingslengde.
- 25 Optiske inn-seksjoner hos en koherent optisk mottager basert på polarisasjonsdiversitet er omtalt f.eks. i referanse [5] og [6]. Ved anvendelse av modusomformere i henhold til oppfinnelsen muliggjøres det en konstruksjon av en optisk seksjon av denne type, hvori bruken av metalliserte
- 30 elementer kan unngås. Slike elementer er vanligvis nødvendige i polarisasjonssplittere som benyttes i optiske seksjoner av denne type.

Referanser

- [1] GB-A-2090992;
- 5 [2] H.-P. Nolting et al., "TE-TM Polarization Transformer With Reset-free Optical Operation For Monolithic Integrated Optics", Proc. ECIO'87 Glasgow, s.115-118;
- 10 [3] R.C. Alferness and L.L. Buhl, "Electro-optic waveguide TE $\leftrightarrow$ TM mode converter with low drive voltage", OPT. Letters, vol. 5, No.11, Nov. 1980, s. 473-475;
- 15 [4] H.-G. Unger 'Planar optical waveguides and fibres', Clarendon Press, Oxford 1980, cpt 8 'Fibre junctions and transitions', section 8.1 'Analysis of fibre mode excitation', s. 700-709
- [5] T. Okoshi et al., "Polarization-diversity receiver for heterodyne/coherent optical fiber communication", IOOC '83, June 1983, Paper 30C3-2, s. 386-387;
- 20 [6] C. Duchet and N. Flaarønning, "New TE/TM polarization splitter made in Ti:LiNbO₃ using x-cut and z-axis propagation", Electronics Letters, 5th July 1990, Vol. 26, No. 14, s. 995-997;
- 25 [7] W.K. Burns and A.F. Milton, "Mode conversion in planar-dielectric separating waveguides", IEEE J. QUANT, ELECTR., Vol. QE-11, No. 1, January 1975, s. 32-39;
- 30 [8] Y. Shani et al.: "Polarization rotation in asymmetric periodic loaded rib waveguides", Integrated Photonics Research, April 9-11, 1991, paper ThH3, Proc. IPR 1991, s. 122-123;
- [9] R.C. Youngquist et al., "All-fibre components using periodic coupling" IEE Proceedings, Vol. 132, Pt.J., No. 5, October 1985, s. 277-286;
- [10] EP-A-0 310 174

Kort omtale av tegningsfigurene

Oppfinnelsen vil nå bli forklart i ytterligere detalj ved hjelp av den kommende beskrivelse av et antall av eksemplifiserte utførelsesformer, idet det henvises til de vedføyde tegningsfigurer.

Figur 1 viser skjematisk et lengdesnitt gjennom en modusomformer i henhold til oppfinnelsen.

10

Figur 2 viser skjematisk et tverrsnitt gjennom en optisk bølgeleder av ribbetypen som kan egne seg for en modusomformer i henhold til figur 1.

Figur 3 er et blokkdiagram over en kjent optisk inn-seksjon av en koherent optisk mottager, hvori miksing går forut for splitting.

Figur 4 viser det samme som på figur 3, hvor splitting går forut for miksing.

20

Figur 5 viser i lengdesnitt en kombinert modusomformer/-splitter i henhold til oppfinnelsen.

Figur 6 viser et blokkdiagram over en optisk inn-seksjon i henhold til oppfinnelsen.

25

Figur 7 viser det samme som figur 4.

30 Beskrivelse av eksempler på utførelsesformer

To polariserte modi har mulighet til å bre seg i en monomodal (optisk) bølgeleder av kanaltypen i et isotrop medium, f.eks. i InP eller i en standard monomodal optisk fiber. Disse modi kan betegnes som TE (transverse electric) og TM (transverse magnetic). Denne terminologi er i virkeligheten misledende fordi de nevnte modi ikke kan beskrives

35

ved hjelp av en eneste elektrisk eller magnetisk feltkomponent. I forbindelse med en beskrivelse av disse ledemodi må alle tre elektriske og alle tre magnetiske feltvektorkomponenter alltid, når alt kommer til alt, være innbefattet. Likevel er forholdet det at med et valg av et ortogonalt aksestystem som er standard ved integrert optikk, er TE modusen dominert av E_y komponenten H_x komponenten, og TM modusen av E_x komponenten og H_y komponenten. I denne forbindelse indikerer z-aksen utbredelsesretningen, og x-aksen blir vanligvis benyttet vinkelrett i forhold til substratet av skive-typen. Bølgeledere av denne type er dessuten vanligvis symmetriske med xz-planet som symmetriplan som et resultat av egenskapen hos kjente integrasjonsteknikker. For en bølgeleder av kanal-typen i et standard optisk fiber, vil et hvilket som helst plan gjennom z-aksen utgjøre et symmetriplan. Denne symmetri manifesterer seg selv i liketallig (+) eller uliketallig (-) form i feltvektorkomponentene for de ledede modi. For de forskjellige modi vil denne liketalls- eller uliketalls-symmetri være vist i tabell 1.

modus	TE_0^0	TE_{01}	TM_{00}	TM_{01}
feltvektor-				
komponent				
E_x	-	+	+	-
E_y	+	-	-	+
E_z	-	+	+	-
E_x	+	-	-	+
E_y	-	+	+	-
E_z	+	-	-	+

Tabell 1

Bølgelederprofilen for en bølgeleder av kanal-typen skal

forstås å innebære geometrien av seksjonen eller snittet av lederen innbefattende de optiske egenskaper hos bølgeledermediet og dets omgivelser. Fra den teori som har å gjøre med optiske fiberskjøter, er det f.eks. fra referanse [4] 5 kjent at dersom en brå overgang fra en bølgelederprofil til en andre bølgelederprofil finner sted i en bølgeleder, er det mulig for kobling å finne sted mellom en ledet modus i lederen oppstrøms i forhold til overgangen, og en hvilken som helst mulig ledet modus i lederen nedstrøms i forhold 10 til overgangen. I denne forbindelse vil kobling med strålingsmodi prinsipielt også være mulig. Imidlertid skal det antas at overgangene som det henspeiles til i denne forbindelse, er slik at koblingen til strålingsmodi kan neglisjeres og derfor kunne utelates av betraktningen her. Graden 15 av kobling, det vil den fraksjon av effekt av en ledet modus oppstrøms i forhold til overgangen som blir omformet til en eller flere ledede modi nedstrøms i forhold til overgangen, kan bereges ved hjelp av integralet av scalarproduktet av de (modale) feltvektorer oppstrøms og nedstrøms i forhold til overgangen (se ligning (8.6) i referanse [4]). Denne teori kan generelt anvendes i forbindelse 20 med hvilken som helst overgang fra en leder av kanal-typen til en andre i en sekvens av to eller flere bølgeledere av kanal-typen med forskjellige modale feltprofiler. Men ikke enhver kobling mellom ledede modi oppstrøms og nedstrøms i forhold til overgangen er umiddelbart mulig. Fra tabell 1 følger det f.eks. at ved en rekkefølge av to symmetriske monomodale bølgeledere, kan ingen omforming av TE_{00} -modus til TM_{00} modus eller vice versa finne 25 sted, fordi disse to modi har en forskjellig symmetri. I en sekvens av en symmetrisk bølgeleder med en asymmetrisk monomodal sådan, eller ved to forskjellige asymmetriske monomodale bølgeledere vil imidlertid kobling finne sted mellom nevnte TE -modus og TM -modus, fordi symmetrien hos de 30 modale feltvektorkomponenter er ødelagt. I en sekvens av to forskjellige bimodale symmetriske bølgeledere kan en god kobling finne sted ved denne overgang mellom TE_{00} og TM_{01} -

modus, eller mellom TE_{01} -modus og TM_{00} -modus og vice versa, i henhold til tabell 1, idet modiene for hvert av de nevnte par har samme feltsymmetri. De koblinger som er nevnt mellom de forskjellige TE og TM modi ved en bølgelederovergang av denne type er imidlertid svake, og omformingsfraksjonen blir derfor lav. For anvendelser i f.eks. en koherent optisk mottager vil det imidlertid være nødvendig med større omformingsfraksjoner, i dette tilfelle tilnærmet 50%, enn det som kan oppnås med en eneste overgang. Store omformingsfraksjoner av denne type kan man oppnå ved å gjøre bruk av en periodisk struktur, hvori den ønskede kobling er i stand til å gjenta seg selv tilstrekkelig ofte for oppnåelse av den ønskede omformingsfraksjon. Fordi utbredelseskonstantene for de forskjellige modi til en viss grad er forskjellig i samme bølgeleder, kan avstanden mellom to påfølgende koblinger velges på en slik måte at en etterfølgende kobling finner sted når som helst de to modi som skal kobles, er kommet 180° ut av fase siden den foregående kobling. I det tilfelle vil en positiv interferens alltid opptre mellom bidragene fra den samme ønskede modus generert ved de etterfølgende koblinger, og bidragene fra de etterfølgende koblinger vil forsterke hverandre. Med gitte bølgelederprofiler hos bølgelederen oppstrøms og nedstrøms i forhold til en overgang, vil avstandenene mellom successive koblinger og antallet av repetisjoner for hvert moduspar bli bestemt i den hensikt å oppnå en ønsket omformingsfraksjon fra en modus til en viss andre modus. Den foreliggende koblingsmekanisme utgjøres derfor av en selektiv mekanisme.

30

Figur 1 viser skjematisk i lengdesnitt en modusomformer i henhold til den foreliggende oppfinnelse oppbygget av bølgelederseksjoner av kanaltypen, det vil si med en innseksjon A, en mellomliggende seksjon B og ut-seksjon C. Den mellomliggende seksjon B omfatter en N-foldig repetisjon av sekvensielt anordnede bølgeledende underseksjoner P og Q med forskjellige motale feltprofiler. La nå under-

35

seksjonene P og Q ha modusavhengige ubredelseskonstanter, henholdvis β_{pm} og β_{qm} , hvor indeks m kan ha verdiene 1 og 2.

I denne forbindelse vil $m=1$ indikere den modus ved hvilken en fraksjon skal omformes, og $m=2$ indikere den modus ved hvilken omforming resulterer. Lengdene L_p og L_q av underseksjonene P og Q blir bestemt ved

$$L_p = \pi |\beta_{p1} - \beta_{p2}|^{-1} \text{ og } L_q = \pi |\beta_{q1} - \beta_{q2}|^{-1}$$

idet antallet av gjentakelser N blir bestemt ved

$$f_{12} = \sin^2(2C_{12} * N)$$

hvor: f_{12} er intensitetsfraksjonen hos modus 1 ved overgangen fra seksjon A til den første underseksjon P, hvilken fraksjon blir omformet til modus 2 etter N koblinger ved overgangen fra den Nte underseksjon Q til seksjon C,
 C_{12} = koblingsfaktoren for modus 1 og modus 2 ved hver P-Q og Q-P overgang.

	m=1	m=2	type	P	Q	A,C
25	TE00	TE01	bimod	asym	sym	(a)sym
	"	"	"	sym	asym	"
	"	"	"	asym	asym	"
30	TE00	TM00	monomod	asym	sym	(a) sym
	"	"	"	sym	asym	"
	"	"	"	asym	asym	"
	TE00	TM01	bimod	sym	sym	(a) sym
	TE01	TM00	bimod	sym	sym	(a) sym
35	TE01	TM01	bimod	asym	sym	(a) sym
	"	"	"	sym	asym	"
	"	"	"	asym	asym	"
	TM00	TM01	bimod	asym	sym	(a) sym
	"	"	"	sym	asym	"
40	"	"	"	asym	asym	"
	m=2	m=1	type	P	Q	A,C
45						

Tabell 2

Tabell 2 viser hvilke modusomforminger som kan oppnås med en bølgelederkonstruksjon av kanaltypen som vist på figur 1. Gjentakelsestegn " " indikerer at samme post forekommer

5 som i raden over. Hver rad i tabellen skal fortolkes på følgende måte. En ledet modus som kommer inn via innseksjonen A referert eller til gjentatt-merket i den første kolonne under $m=1$, blir omformet i den ledede modus referert til eller gjentatt-merket i den andre kolonne som følger nevnte under $m=2$ dersom bølgelederseksjonene P, Q, A og C er av den type som er nevnt i tredje kolonne som ligger inntil nevnte, og er symmetrisk eller asymmetrisk i henhold til beskrivelsene i de tilsvarende kolonner. Således vil f.eks. den syvende rad innebære at modus TE_{00} i den bimodale

10 bølgeleder av kanaltypen (merket med bimod) har symmetriske underseksjoner P og Q (merket med sym) som kan omformes til TM_{01} -modus, idet det er mulig for seksjonen A og seksjonen C å være symmetrisk eller asymmetrisk (merket med (a)sym). Videre vil fjerde, femte og sjette rad, lest i kombinasjon,

20 indikere at i en monomodal bølgeleder (merket med monomod), vil minst en av de tilhørende seksjoner P og Q være asymmetriske, samtidig som modus TE_{00} kan omformes til modus TM_{00} .

25 Dersom modusomformerer er en omformer som omformer en ledet modus av nulte orden til en ledet modus av første orden, kan bølgelederseksjonen A være monomodal, mens seksjonene P og Q er bimodale. Fortrinnsvis vil det da være anordnet et avfaset stykke mellom seksjon A og den første seksjon P,

30 hvilket avfaset stykke danner en gradvis overgang fra monomodal til bimodal, samtidig som er kobling slik som den ved overgangen mellom seksjonene P og Q ikke har mulighet til å finne sted. I lys av den resiproke egenskap hos den koblingsmekanisme som ligger til grunn for modusomformingene,

35 forblir tabell 2 fullstendig gyldig, dersom postene fra kolonnene $m=1$ og $m=2$ blir innbyrdes byttet. Dette er vist i den siste linje av tabellen ved henholdsvis $m=2$ og $m=1$,

nemlig under den første og andre kolonne.

På figur 1 er de forskjellige bølgelederseksjoner A, P, Q og C vist med forskjellige tverrsnitt. Dette er rent sym-
5 bolsk for å indikere at deres bølgelederprofiler kan være forskjellige. Selv om forskjeller av denne type ofte kan fremskaffes på en enkel måte ved slike forskjeller i tverrsnitt, kan de også oppnås på mange andre måter. Dersom en av underseksjonene er symmetrisk, kan dessuten bølge-
10 lederprofilen for nevnte underseksjon og bølgelederprofilene for seksjonene A og C kunne velges til å være like.

Hver omforming i henhold til tabell 2 med en stuktur i henhold til figur 1, kan lett implementeres på integrert måte, f.eks. på basis på InP. Figur 2 viser et tverrsnitt gjennom en bølgeleder av kanal-typen med en ribbestruktur. Et substrat 1 av InP med en brytningsindeks n_1 understøtter en lysledende film 2 av InGaAsP med en brytningsindeks n_2 som
20 er noe høyere enn n_1 , samt et bufferlag 3 av InP anordnet derpå, og som også har en brytningsindeks n_1 . Bufferlaget 3 er forsynt med en ribbe 4 med et rektangulært tverrsnitt, høyde h og bredde d av samme materiale som f.eks. er fremskaffet fra bufferlageret ved utsparing ved hjelp av etse-
25 teknikker. Den bølgeleder som er dannet under en ribbe med et rektangulært tverrsnitt av denne type i et isotropt medium, utgjør en symmetrisk sådan. Bølgelederen blir en asymmetrisk sådan ved ødeleggelse av nevnte symmetri, f.eks. ved fjerning av et lite hjørne 5 i det høyre øvre
30 hjørne fra det rektangulære tverrsnitt over lengden av bølgelederen, f.eks. ved en ytterligere etseoperasjon. Ved fremskaffelse av, i den samme men speilbilde-orienterte måte, asymmetrien i tverrsnittet istedetfor ved den høyre side, nemlig ved den venstre side, hvilket ved dette eksempel
35 innebærer fjerning av et like stort lite hjørne 6, vil man også fremskaffe en asymmetrisk bølgeleder, men med motsatt symmetri. Dersom den samme men innbyrdes speilbilde-

orienterte symmetri blir fremskaffet i tverrsnittet både på høyre og på venstre side, det vil si ved fjerning av både et lite hjørne 5 og et lite hjørne 6, vil det fremskaffes en symmetrisk bølgeleder, men med en bølgelederprofil som er forskjellig fra den bølgelederprofil som har det opprinnelige rektangulære tverrsnitt. Istedetfor å fjerne materialet, kan de samme virkninger selvsagt fremskaffes ved groing på materialet. Som et resultat av en passende utvelgelse av bredde d_m kan bølgelederen bli monomodal eller bimodal. Forskjellige symmetriske bølgeledere kan man også oppnå ved en liten variasjon i bredden d , i hvilket tilfelle modustypen for bølgelederen ikke endrer seg. En asymmetri som skal kunne fremskaffes, må også være slik at modustypen for bølgelederen ikke endrer seg, men dette er imidlertid ikke kritisk.

Ved en overgang i en sekvens av bølgelederseksjoner vil imidlertid konseptet hva angår symmetri være relativt. En overgang mellom to sekvensielt anordnede symmetriske seksjoner, idet symmetriplanet av seksjonen er forskutt nedstrøms i forhold til overgangen relatert til symmetriplanet for den seksjon som befinner seg oppstrøms i forhold til nevnte, utgjør likevel en overgang fra en symmetrisk til en asymmetrisk ledende seksjon for en ledet modus. Dette får gyldighet både hva angår symmetriske seksjoner med like bølgelederprofiler og til symmetriske seksjoner med forskjellige bølgelederprofiler. Dette innebærer at en symmetrisk bølgeledende seksjon med en asymmetri som avtar seg eller vider seg ut i relasjon til en symmetrisk bølgeledende seksjon som går forut for nevnte, også skaffer en symmetri/asymmetri-overgang. Dette svarer imidlertid til en asymmetri som henholdsvis blir oppnådd ved fjerning eller groing av et lite hjørne 5' med samme høyde h som ribben 4. En separat etseoperasjon er imidlertid ikke lenger nødvendig for en fjerning av denne type. Alle modifikasjoner som er nødvendige for en spesifikk modusomformer, kan fremskaffes på enkel måte og med påkrevet nøyaktighet på en

bølgeleder av denne type med en ribbestruktur, og da med eksisterende etseteknikker og ved passende valg av masker som skal benyttes ved prosessen. Selvsagt kan det for dette formål benyttes andre bølgelederstrukturer som er standard innen området integrert optik. Videre vil generelt en hvilken som helst modusomformer fra tabell 2 kunne frem-
 5 skaffes ved enkle modifikasjoner i forhold til en hvilken som helst enkel bølgeleder av kanal-typen, nemlig ved hjelp av kjente integrasjonsteknikker.

10

Eksempel 1

I henhold til tabell 2 kan en $TE_{00} \rightarrow TM_{00}$ -omformer fremstilles ved hjelp av monomodale bølgelederseksjoner. For en
 15 bølgeleder av ribbetypen som omtalt ovenfor, på et et InP-substrat med $n_1=3.209$, og en film av InGaAsP, $n_2=3.325$, filmtykkelse $0.50 \mu\text{m}$, bufferlagtykkelse $0.10 \mu\text{m}$, ribbehøyde (over bufferlageret 3) $0.45 \mu\text{m}$, må ribbebredden bli valgt lik $d=2.0 \mu\text{m}$ (monomodal!), $L_p \approx L_Q =$ tilnærmet $80 \mu\text{m}$. Bryt-
 20 ningsindeksene n_1 og n_2 og lengdene L_p og L_Q for underseksjonene finner anvendelse i forbindelse med optiske signaler med en bølgelengde på $1.3 \mu\text{m}$. Seksjonene A og C er symmetriske og har den samme bølgelederprofil. Dersom en av de to underseksjoner er asymmetrisk, f.eks. seksjon P,
 25 som et resultat av fjerning av et lite hjørne 5 med en høyde på $0.23 \mu\text{m}$ og en tverrsnittseksjon, og den andre seksjon er symmetrisk, f.eks. med samme modale feltprofil som seksjonene A og C, vil den beregnede koblingsfaktor være $C_{12} = 3.4 \cdot 10^{-3}$ mellom modiene TE_{00} og TM_{00} . For å oppnå en omfor-
 30 ming på 50%, må fraksjonen $f_{12} = 1/2$. Dette oppnås i henhold til (2) dersom $2C_{12} \cdot N = 1/4\pi$, hvilket innebærer at dersom antallet av periodiske repetisjoner for koblingen $N = 116$. Den totale lengde av seksjonen B blir da tilnærmet 18.5 mm . Dersom underseksjonen Q blir gjort asym-
 35 metrisk, med en asymmetri som bare er lik speilbildet av den for underseksjonen P, vil koblingsfaktoren fordobles

som et resultat, slik at antallet av koblinger og følgelig lengden av seksjonen B, kan reduseres til det halve. For en 100% omforming må tallet N bli fordoblet.

5 Eksempel 2

I henhold til tabell 2 kan en $TM_{00} \rightarrow TM_{01}$ -omformer konstrueres ved hjelp av bimodale bølgelederseksjoner. Denne type av modusomformer er konstruert ved hjelp av en beregningsmetode kjent under navnet "Effective Index Method".

For en bølgeleder av ribbetypen, slik det er omtalt ovenfor på et InP substrat, $n_1 = 3.1754$ og en film av InGaAsP, $n_2 = 3.4116$, filmtykkelse $0.473 \mu\text{m}$, bufferlagtykkelse $0.304 \mu\text{m}$, ribbehøyde (over bufferlageret 3) på $0.200 \mu\text{m}$, ribbevidde $d = 8.5 \mu\text{m}$ (bimodal!), må man velge $L_P = L_Q = 387 \mu\text{m}$. Brytningsindeksen n_1 og n_2 samt lengdene L_P og L_Q for underseksjonene blir her beregnet for optiske signaler med en bølgelengde på $1.5 \mu\text{m}$. De to underseksjoner er symmetriske og har samme bølgelederprofil. Underseksjonene P og Q blir koblet i rekkefølge i lengderetningen, alternativt forskutt til venstre og til høyre i forhold til hverandre, idet forskyvningen alltid er $0.56 \mu\text{m}$. Den beregnede koblingsfaktor $C_{12} = 0.131$ for koblingen mellom modiene TM_{00} og TM_{01} . For å oppnå en omforming på 100% i det minste med tilstrekkelig nøyaktighet, er det tilstrekkelig med totalt 12 seksjoner.

Dempningen som finner sted under prosessen, er beregnet til $< 0.1\text{dB}$. Den totale lengde av omformerer er tilnærmet 4.7 mm . Dersom seksjonen A er monomodal, i det minste for TM-polarisasjonen, f.eks. med en ribbebredde på $4.3 \mu\text{m}$, så må et avfaset stykke innlemmes mellom seksjonen A og den første underseksjon P for den mellomliggende seksjon B, for å kunne oppnå en gradvis overgang fra en monomodal til en bimodal bølgeleder. Seksjonen C kan være en direkte fortsettelse av den siste underseksjon P eller Q. Ved hjelp av figurene 3 - 6 vil det nå bli forklart noen anvendelser for de ovenfor omtalte modusomformere, i forbindelse med to ty-

per av optiske inn-seksjoner, som i og for seg er kjent for en koherent optisk mottager som drives på basis av polarisasjonsdiversitet.

- 5 Figur 3 viser et blokkdiagram av en første type av de kjente optiske inn-seksjoner, hvor miksing går forut for splitting. Seksjonen omfatter en mikser 11 med en optisk innkanal a for et hvilket som helst lyssignal som skal detekteres, det vil si med en ukjent TE/TM polarisasjons-
- 10 fordeling, samt en optisk innkanal b for et lyssignal med en 50% TE/TM-polarisasjonsfordeling som skriver seg fra en lokal lyskilde 12. Mikseren 11 fordeler signal som det har mikset likt med hensyn til effekt via to optiske kanaler c og d. Deretter vil hvert av signalene som fremskaffes på
- 15 tilhørende utganger, bli splittet ved hjelp av TE/TM-polarisasjonssplittere 13 og 14 som er i og for seg kjent, og signalene som er splittet på denne måte, opptrer ved utgående optiske kanaler e, f, g og h fra splitterne for ytterligere behandling. Alle de optiske kanaler er i prinsippet monomodale. En 3dB effektkobler er kjent som mikser. Den lokale lyskilde 12 er fortrinnsvis ko-integrert i en integrert form for en optisk inn-seksjon av denne type.
- 20 Dersom lyskilden 12 er en laser, kan den bare fremskaffe en tilstand hvor et lyssignal som den sender ut via en optisk kanal j, inneholder bare én polarisasjonskomponent. Således vil lyssignalet fra en ko-integrert laser som er standard ved integreringen på basisen av InP og med lys i nærheten av det infrarøde, inneholde bare TE-
- 25 polarisasjonskomponenten. Det innebærer at en modusomformer må inkorporeres mellom utgangen fra lyskilden 12 og inngangen til den optiske kanal 3 hos mikseren 11 for en partiell polarisasjons-modusomforming, i dette tilfelle 50%. Fordi både den optiske kanal j og den optiske kanal b er monomodale, vil en 50% $TE_{00} \rightarrow TM_{00}$ -modusomformer 15 i hen-
- 30 hold til oppfinnelsen kunne velges for dette formål.
- 35

Figur 4 viser et blokkdiagram for en optisk inn-seksjon

hvor splitting går forut for miksing. Et lyssignal som blir mottatt via inn-kanal a, blir nå først presentert for en TE/TM-polarisasjonssplitter 21. Signaler som resultatmessig er splittet i polarisasjonsmodus TE og TM, blir via optiske kanaler k og l overført til forskjellige 3dB effektkoblere, henholdsvis 22 og 23, for miksing med lyssignaler som har tilsvarende polarisasjonsmodus, er overført via optiske kanalers m og n og skriver seg fra den lokale ko-integrerte lyskilde 12. Mellom den optiske ut-kanal j for lyskilden 12, og i de optiske kanaler m og n er det innlemmet en kombinert omformer/splitter 25 som tjener til dette formål. Alle de optiske kanaler a, e - h, samt j - n er også her monomodale. Mer generelt har en kombinert modusomformer/splitter 25 den funksjon at den sender en omformet signalfraksjon som er blitt splittet ut fra det gjenværende ikke-konverterte signal til en separat utgang.

En modusomformer/splitter av denne art er vist i detalj på figur 5, og omfatter tre seksjoner, nemlig:

- 20 - et avfaset stykke 25.1 for omforming av den monomodale optiske kanal j til en bimodal optisk kanal,
 - $TX_{00} \rightarrow TY_{01}$ modusomformer 25.2 i henhold til tabell 2, idet TX og TY hver representerer en av polarisasjonsmodiene TE og TM, samt
- 25 - en modussplitter 25.3, idet det for dette formål kan benyttes en splitter som er basert på en monomodal asymmetrisk avgrening av en bimodal bølgeleder, hvilket innebærer, med en fortsettelse i to monomodale avgreninger med forskjellige utbredelseskonstanter, f.eks. som omtalt i referanse [7] (mer spesielt, se figur 2 (a)). Ved en splitter av denne type vil en første ordens ledet modus oppstrøms i forhold til avgreningen, bli fullstendig omformet til en nulte-ordens ledet modus av avgreningen med den laveste utbredelseskonstant, mens den ledede modus av nulte-
- 30 orden oppstrøms i forhold til avgreningen brer seg i den avgrening som har den høyeste utbredelseskonstant. En modussplitter av denne type kan benyttes her fordi den omfor-

mer 25.2 som går forut for nevnte, avgir et optisk signal hvor TX-polarisasjonsmodusen brer seg utelukkende som en ledet modus av nulte-orden, samtidig som TY-polarisasjonsmodusen brer seg utelukkende som en ledet modus av første orden. Fordelen ved denne typen modussplitter er at den ikke inneholder en eller flere mekaniserte bølgeledere, hvilket er i motsetning til de allerede benyttede polarisasjonssplittere. Bruken av metalliserte elementer i en integrert optisk konstruksjon vil, når alt kommer til alt, kreve ytterligere forholdsregler for å forhindre forstyrrende virkning på omgivende optiske komponenter. Dersom en 100% $TX_{00} \rightarrow TX_{01}$ -omformer blir valgt som modusomformer 25.2 i en kombinert modusomformer/splitter av denne type, vil igjen TX stå for en av de to polarisasjonsmodi, samtidig som det oppnås en polarisasjonssplitter som heller ikke har noen metalliserte elementer. Den kombinerte modusomformer/-splitter 25 kan benyttes i den optiske inn-seksjon i henhold til figur 4, dersom modusomformer 25.2 som er innlemmet deri, er en 50% $TE_{00} \rightarrow TM_{01}$ -modusomformer, idet man går uti- fra den antagelse at også her er bare TE-polarisasjonsmodus tilstede ved den optiske kanal j. Figur 6 viser et blokkdiagram for et optisk inn-signal som kan fullstendig implementeres uten slike metalliserte elementer. På samme måte som ved den optiske inn-seksjon i henhold til blokkdiagrammet vist på figur 3, finner miksing her sted forut for splitting. Imidlertid går den essensielle forskjell ut på at miksing finner sted ved multimodalt nivå ved hjelp av en mikser 31 for den multimodale effektkobler av typen 3dB med bimodale inn-kanaler p og q og bimodale ut-kanaler r og s. Til sontring av disse fra de monomodale optiske kanaler er de bimodale optiske kanaler vist med tykkere strek på nevnte figur. Som splitterorganer kan man benytte splittere 32 og 33 av samme type som modussplittere 25.3 (se figur 5), forutsatt at det sikres at i de optiske kanalene r og s, og derfor også i de optiske kanaler p og q, de to forskjellige polarisasjoner TE og TM utelukkende brer seg i innbyrdes forskjellige ordner av ledet modus, på

et likt grunnlag i hver av de optiske kanaler, respektive p - s. For dette formål er det innlemmet en 100% $TM_{00} \rightarrow TM_{01}$ -omformer 34 mellom den monomodale inn-kanal a og den bimodale inn-kanal p, og en 50% $TE_{00} \rightarrow TM_{01}$ -omformer 36 innlemmet mellom den monomodale optiske kanal j for ledning av det optiske signal som opprinnelig kommer fra lyskilden 12, og den bimodale optiske inn-kanal q for mikseren 31. Begge omformere 34 og 36 er også her valgt i henhold til tabell 2, og hver av omformerne bør også ha foran seg et avfaset stykke, f.eks. 25.1 fra figur 5. De utgående optiske kanaler e - h er lik dem på figur 3, og er derfor gitt tilsvarende henvisningssymboler.

Figur 7 viser et blokkdiagram over en optisk inn-seksjon, hvor splitting går forut for miksing, idet inn-seksjonen utgjør en variant av og er i stand til å representeres ved det samme blokkdiagram som inn-seksjonen i henhold til figur 4. Et optisk signal som er mottatt via inn-kanalen a, blir nå først tilført en kombinert modusomformer/splitter 41 med utgående monomodale optiske kanaler k' og l' av samme type som modusomformer/splitteren 25 omtalt ovenfor (se figur 5), hvori modusomformeren (25.2 på figur 5) er en 100% $TM_{00} \rightarrow TE_{01}$ -modusomformer.

Som et resultat vil signaler med polarisasjonsmodus TE bli tilført via begge de optiske kanaler k' og l' til forskjellige 3dB effektkoblere 42 og 43, idet et av de nevnte signaler svarer til den omformede TM-komponent for det signal som er mottatt via inn-kanalen a. Det optiske signal fra lyskilden 12 som også har polarisasjonsmodus TE, blir nå matet via den optiske ut-kanal j fra lyskilden 12 til inngangen til en symmetrisk Y-splitter 44 og tilføres effektkoblerne 42 og 43 etter å ha blitt fordelt med hensyn til effekt via utgående monomodale optiske kanaler m' og n'. Ved denne variant vil signaler med utelukkende polarisasjonsmodus TE fremkomme for ytterligere behandling på de

utgående optiske kanaler e' , f' , g' og h' . Fordelene ved denne variant går ut på at optimalisering kreves bare for én polarisasjonsmodus på integrasjon, og at, akkurat som i tilfellet med inn-seksjonen i henhold til figur 6, det

5 trenges heller ikke her noen polarisasjonssplittere som er forsynt med metallelementer. Dessuten går en ytterligere fordel ut på at Y-splitteren 44 er lettere å fremstille enn de polarisasjonsomformende og splittende komponenter som er

10 latoren 12 ved andre varianter i henhold til figur 3, figur 4 og figur 6.

P a t e n t k r a v

1. Integrert optisk modusomformer for omforming av en fraksjon av en signalkomponent hos et optisk signal som
5 brer seg i henhold til en første ledet modus, til en signalkomponent som brer seg i henhold til en andre ledet modus, omfattende en kanaltype bølgeleder som omfatter en innkommende bølgeledende seksjon (A), en mellomliggende bølgeledende seksjon (B) og en utgående bølgeledende seksjon (C), idet det i den mellomliggende bølgeledende seksjon
10 finner sted en periodisk kobling mellom de to ledede modi av et optisk signal som brer seg i bølgelederen, idet periodelengden og antaller av perioder blir tilpasset den ønskede omformingsfraksjon,
15 k a r a k t e r i s e r t v e d at den mellomliggende bølgeledende seksjon har en periodisk geometrisk struktur bestående av en periodisk sekvens av to bølgeledende underseksjoner (P, Q) i hver periodelengde (L_P , L_Q) idet underseksjonene har geometriske strukturer, lengder, samt en sekvensiell anordning som er tilpasset det ønskede par av ledete modi.
2. Modusomformer som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at en periodelengde omfatter en første underseksjon med en første asymmetrisk
25 bølgelederprofil, og en andre underseksjon med en andre symmetrisk bølgelederprofil.
3. Modusomformer som angitt i krav 2,
30 k a r a k t e r i s e r t v e d at bølgelederprofilene for den andre underseksjon og den innkommende bølgelederseksjon er hovedsakelig de samme.
4. Modusomformer som angitt i krav 3,
35 k a r a k t e r i s e r t v e d at underseksjonene er monomodale.

5. Modusomformer som angitt i krav 3,
k a r a k t e r i s e r t v e d at underseksjonene er
bimodale.

5

6. Modusomformer som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at en periodelengde om-
fatter to underseksjoner, idet hver omfatter en asymmetrisk
bølgelederprofil.

10

7. Modusomformer som angitt i krav 6,
k a r a k t e r i s e r t v e d at underseksjonene er
monomodale.

15

8. Modusomformer som angitt i krav 6,
k a r a k t e r i s e r t v e d at underseksjonene er
bimodale.

20

9. Modusomformer som angitt i krav 6,
k a r a k t e r i s e r t v e d at bølgelederprofilene
for de to underseksjoner har innbyrdes motsatt asymmetri.

25

10. Modusomformer som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at en periodelengde om-
fatter to underseksjoner, idet hver omfatter en symmetrisk
bølgelederprofil.

30

11. Modusomformer som angitt i et av de foregående krav,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den periodiske geo-
metriske struktur oppnås hovedsakelig som et resultat av
forskjeller i bredde mellom bølgeleder-underseksjonene.

35

12. Modusomformer som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at periodelengden omfat-
ter to underseksjoner med samme bølgelederprofil, hvilke
underseksjoner er knyttet til hverandre i den periodiske
sekvens i en forskutt måte.

13. Modusomformer som angitt i et av kravene 5, 8, 9 eller 11,

5 k a r a k t e r i s e r t v e d at den utgående bølge-
lendende seksjon er grenet ut fra en bimodal bølgeleder til
to forskjellige monomodus-bølgeledere for derved å danne en
modussplitter.

14. Modusomformer som angitt i et av kravene 5, 8, 9, 11
10 eller 13,

k a r a k t e r i s e r t v e d at den innkommende bølge-
geledende seksjon innbefatter et avfaset stykke for omfor-
mingen av en monomodal til en bimodal optisk bølgeleder.

15

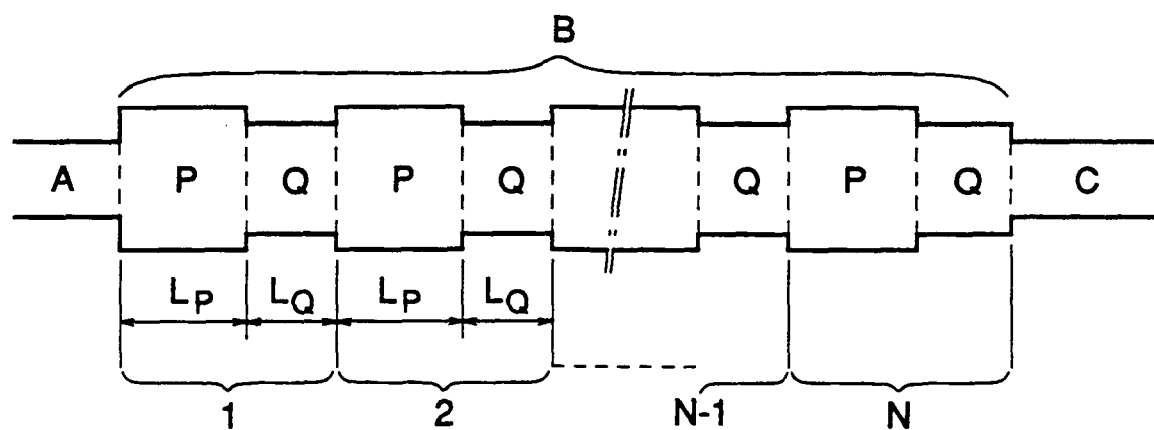


FIG. 1

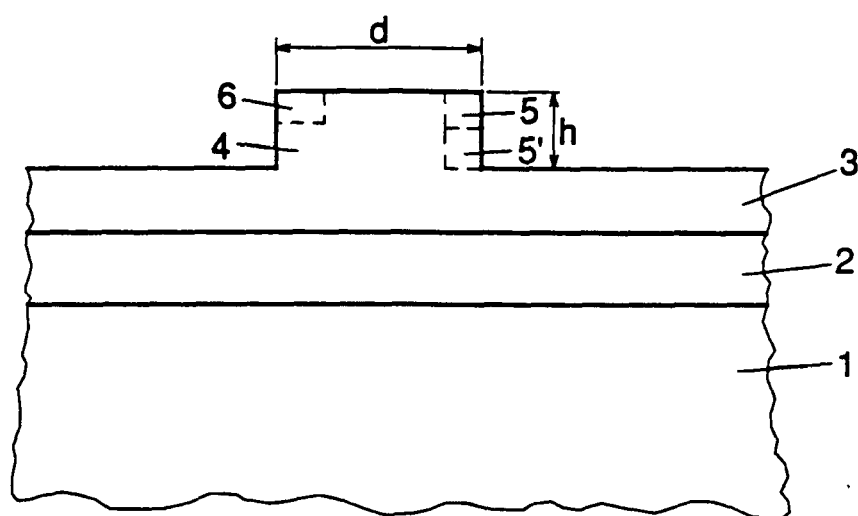


FIG. 2

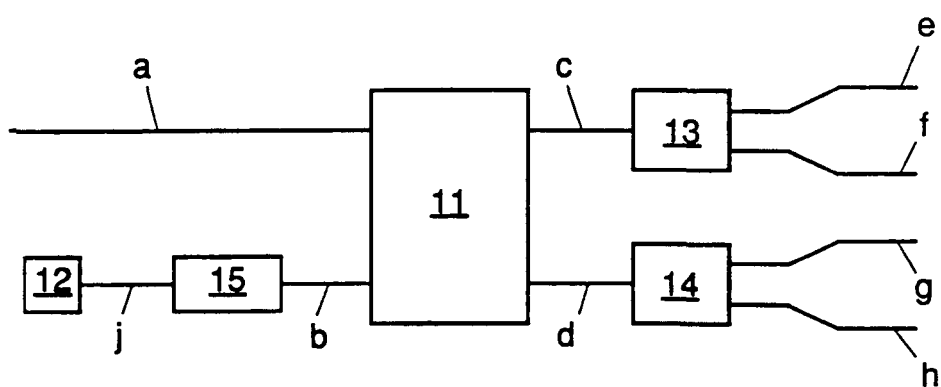


FIG. 3

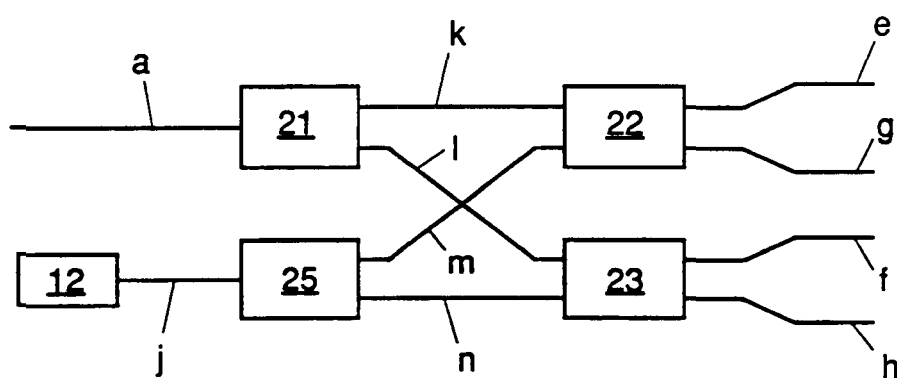


FIG. 4

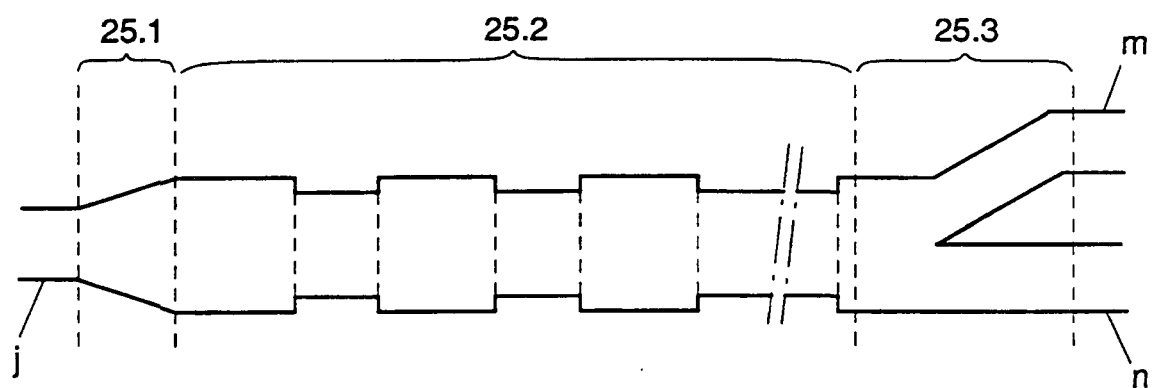


FIG. 5

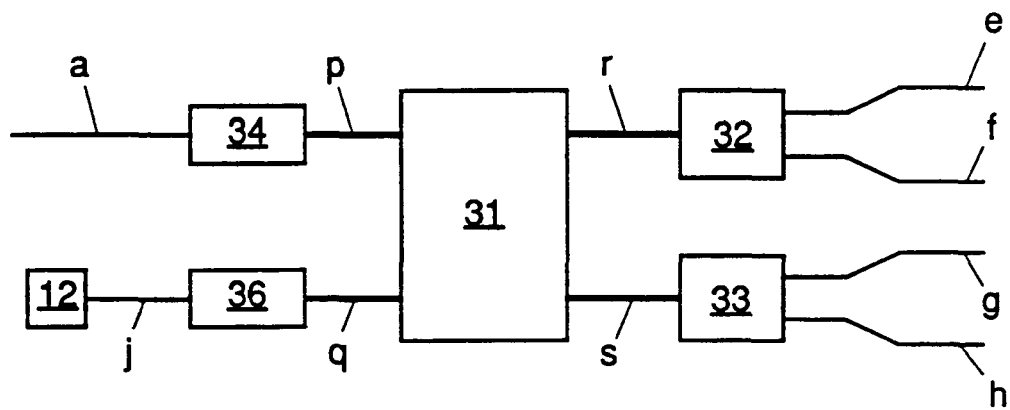


FIG. 6

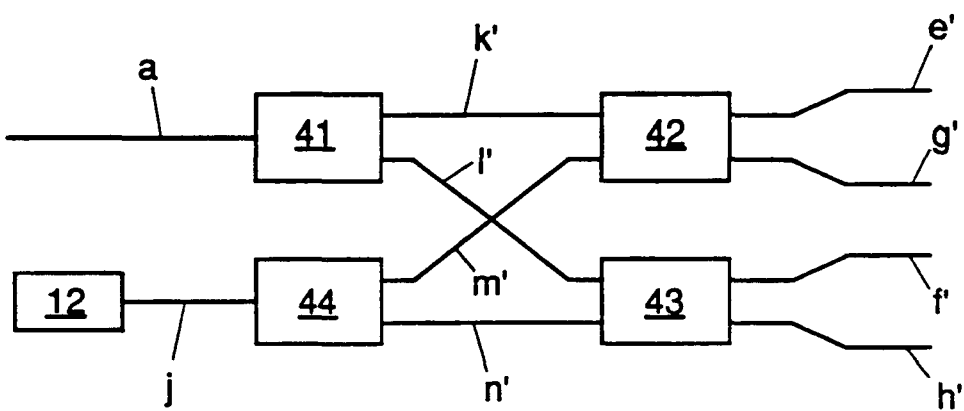


FIG. 7