



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 274 293**

51 Int. Cl.:
G02B 6/12 (2006.01)
G02B 6/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03780301 .2**
86 Fecha de presentación : **30.10.2003**
87 Número de publicación de la solicitud: **1558952**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **03.08.2005**

54 Título: **Divisor óptico 2 por n, de óptica integrada.**

30 Prioridad: **04.11.2002 FR 02 13747**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2007

73 Titular/es: **Teem Photonics**
61, chemin du Vieux Chene
38240 Meylan, FR

72 Inventor/es: **Jacquin, Olivier y**
Guidoux, Cyril

74 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Divisor óptico 2 por n, de óptica integrada.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un divisor óptico 2 por n, de óptica integrada. La misma se refiere, de manera más precisa, a un divisor óptico que presenta pérdidas de exceso y un acromatismo satisfactorios para las aplicaciones previstas y en particular para aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones ópticas, especialmente en las
10 ventanas espectrales de 1260-1360 nm y 1480-1660 nm.

Se entiende, para un elemento divisor de 2 por 2, por pérdidas de exceso y por cromatismo satisfactorios, las pérdidas de exceso inferiores a 0,2 dB (especialmente para el conjunto de ventanas espectrales de 1260-1360 nm y 1480-1660 nm) y un acromatismo inferior a 0,5 dB (para el conjunto de estas mismas ventanas).

15 La invención se aplica a todos los campos que necesitan una función óptica 2 por n, y más en particular a los sectores de las telecomunicaciones.

20 **Estado de la técnica anterior**

Un divisor óptico de 2 por n (siendo n un número entero superior o igual a 2), está compuesto por al menos un elemento divisor óptico que incluye 2 entradas y 2 salidas que permiten dividir una onda luminosa inyectada en una de las entradas en 2 partes, repartidas según una relación de división predefinida en cada una de las salidas.

25 Cuando n es superior a 2, el divisor óptico incluye varios elementos divisores dispuestos en cascada con el fin de presentar 2 entradas y n salidas, y permitir la repartición de una onda luminosa inyectada en una de las 2 entradas, en las n salidas de acuerdo con una relación de división predefinida para cada una de las salidas.

Un divisor de 2 por 2 convencional se encuentra descrito, por ejemplo, en la Patente US 5.835.651.

30 La Figura 1 representa esquemáticamente un divisor 2 por 2, convencional de ese tipo, realizado en óptica integrada, en un plano XY del sustrato que contiene al citado divisor.

En esta Figura, el sustrato en el que se ha realizado el divisor no ha sido representado. Solamente se ha ilustrado
35 una primera y una segunda guía-ondas 1 y 3 monomodos de entrada, una primera y una segunda guía-ondas 5 y 7 monomodos de salida, y una guía-ondas 9 bimodo de longitud La según el eje X, y de anchura Wa según el eje Y, que conecta las guía-ondas de entrada y las guía-ondas de salida. Las guías de entrada y de salida se encuentran conectadas respectivamente a la guía bimodo, con un ángulo β respecto al eje X.

40 Con este divisor, una onda luminosa Ea inyectada en las guías monomodos de entrada, por ejemplo en la guía 1, se propaga por ésta en dirección a la guía 9 bimodo aproximándose a la segunda guía 3 de entrada, estableciendo así con esta última un acoplamiento de proximidad. Este acoplamiento de proximidad es más importante para las longitudes de onda altas (tales como las longitudes de onda comprendidas en la banda espectral de 1480-1660 nm), que para las longitudes de onda bajas (tales como las longitudes de onda comprendidas en la banda espectral de 1260-1360 nm).

45 A continuación, en el extremo de las guías 1, 3 monomodos de entrada, la onda luminosa se acopla a los dos modos de la guía 9 bimodo. El acoplamiento entre estos dos modos en el transcurso de la propagación en la guía bimodo, tiene un comportamiento espectral contrario al experimentado en las guías monomodos, es decir, un acoplamiento más débil para las longitudes de onda altas (1480-1660 nm) que para las longitudes de onda bajas (1260-1360 nm).

50 Por último, a la salida de la guía 9 bimodo, la onda luminosa se acopla con una cierta repartición en las dos guías 5, 7 monomodos de salida. La onda luminosa experimenta entonces de nuevo el acoplamiento de proximidad, y esto hasta que las guías monomodos estén separadas por una distancia H tal que la onda luminosa que se propaga por cada una de las guías monomodos, no vea ya la otra guía.

55 Se obtiene así una onda luminosa Ea repartida en dos ondas luminosas S1a, S2a en las dos guías monomodos 5, 7 de salida.

60 La componente espectral en las guías monomodos de entrada y de salida, que es contraria al comportamiento espectral en la guía bimodo, permite para valores de β , de Wa y de La bien elegidos, obtener un divisor 2 por 2 acromático. Un valor bajo de β permite además limitar las pérdidas de exceso.

Aunque satisfactorio en ciertos aspectos, en este divisor 2 por 2, la onda luminosa experimenta una discontinuidad en cada uno de los extremos de la guía bimodo conectados a las guías monomodos que crean pérdidas de desadaptación entre los modos de guía bimodo y los modos de guía monomodos, así como pérdidas de reflexión. Estas pérdidas de desadaptación y de reflexión son particularmente molestas para aplicaciones en el sector de las telecomunicaciones ópticas.

Por otra parte, según se ha visto en lo que antecede, las pérdidas de exceso y el acromatismo, dependen de β ; para reducir el cromatismo, β debe aumentar, mientras que para reducir las pérdidas de exceso, β debe disminuir. Este comportamiento del divisor hace que resulte difícil la realización del divisor 2 por 2 de manera que presente a la vez un buen acromatismo y bajas pérdidas de exceso.

A. Takagi *et al.*, en "Wavelength characteristics of (2X2) optical channel-type directional couplers with symmetric or nonsymmetric coupling structures" ("Características de longitud de onda de acopladores direccionales de tipo canal óptico (2X2) con estructuras de acoplamiento simétricas o no simétricas"), Journal of Lightwave Technology, IEEE, New York, US, Vol. 10, núm. 6, 1º de junio de 1992, páginas 735-746, describe un divisor 2 por 2 cuyo valor L_c de acoplamiento se elige de forma que tenga un elemento divisor acromático a las longitudes de onda de funcionamiento del divisor.

Exposición de la invención

La presente invención tiene por objeto un divisor óptico 2 por n, en óptica integrada, que no presenta las limitaciones y las dificultades de los divisores de la técnica anterior.

En particular, un objeto de la invención consiste en proponer un divisor 2 por n que presenta bajas pérdidas de exceso y un acromatismo satisfactorio, especialmente para las telecomunicaciones ópticas en el conjunto de ventanas espectrales de 1260-1360 y 1480-1660 nm. El divisor de la invención es ventajosamente muy débilmente cromático, es decir acromático, y presenta un mínimo de pérdidas de exceso.

En lo que resta de la descripción, se entiende por acromático, tanto un bajo cromatismo (por ejemplo $<0,5$ dB para las ventanas espectrales de las telecomunicaciones), como un acromatismo "perfecto".

Un objeto de la invención consiste también en realizar un divisor 2 por n, en el que las pérdidas de exceso y el cromatismo son independientes con el fin de facilitar su realización.

Un objeto de la invención consiste también en proporcionar un divisor 2 por n, que no presente discontinuidad para la onda luminosa, con el fin de limitar las pérdidas de desadaptación y de reflexión.

Para alcanzar estos objetos, la invención propone un divisor 2 por n, en óptica integrada, siendo n un número entero superior o igual a 2, que incluye en un sustrato al menos un elemento divisor óptico 2 por 2, comprendiendo este elemento una primera y una segunda guía-ondas de anchuras respectivamente W_1 y W_2 susceptibles de dividir una onda luminosa E de entrada introducida en una de las guías, en una primera y una segunda ondas S_1 y S_2 de salida, transportadas respectivamente por la primera y la segunda guías; estas primera y segunda guías presentan respectivamente al menos tres partes:

- una primera parte, de un primer tipo de acoplamiento, en la que la primera y la segunda guías se aproximan progresivamente hasta una distancia D_c que no es nula, pero inferior a una distancia D_s de umbral que corresponde a la distancia mínima a partir de la cual la onda luminosa de entrada introducida en una de las guías es susceptible de ser acoplada, al menos en parte, con la otra guía;
- una segunda parte, de un segundo tipo de acoplamiento, de longitud L_c , denominada de acoplamiento, en la que las citadas guías son sensiblemente paralelas entre sí y distantes el valor D_c ,
- y una tercera parte, de un primer tipo de acoplamiento, en la que las guías se separan progresivamente a partir del valor D_c para distar entre sí un valor superior a D_s ,

siendo elegidos los valores D_c , L_c , W_1 , y W_2 de manera que se tiene un elemento divisor acromático a las longitudes de onda de funcionamiento del divisor, siendo elegidos los valores D_c y L_c de modo que el primer tipo de acoplamiento y el segundo tipo de acoplamiento varían con las citadas longitudes de onda.

Este divisor funciona según las características enunciadas en la parte caracterizadora de la reivindicación 1.

La onda luminosa está dividida según una relación de división CR que está asociada a la salida de una de dichas primera o segunda guías (por conveniencia).

Se entiende por guía óptica en la invención, una guía de confinamiento lateral, por oposición a una guía planar, en la que la luz puede propagarse en un plano: el plano de la guía.

Las guías de la invención son favorablemente monomodos.

Una guía óptica se compone de una parte central denominada generalmente corazón, y de medios circundantes situados alrededor del corazón, y que pueden ser idénticos entre sí o diferentes.

Para permitir el confinamiento de la luz en el corazón, el índice de refracción del medio que compone el corazón debe ser diferente, y en la mayor parte de los casos superior, al de los medios circundantes.

ES 2 274 293 T3

Para simplificar la descripción, se asimilará la guía a su parte central o corazón. Por otra parte, se denominará a todos o parte de los medios circundantes, sustrato, bien entendido que mientras la guía no esté enterrada o lo esté poco, uno de los medios circundantes puede ser exterior al sustrato, y ser por ejemplo el aire.

5 Según sea el tipo de técnica utilizada, el sustrato puede ser monocapa o multicapa.

Además, según sean las aplicaciones, una guía óptica en un sustrato puede ser más o menos enterrada en este sustrato e incluir, en particular, porciones de guía enterradas a profundidades variables. Esto es particularmente cierto en la tecnología de intercambio de iones del vidrio.

10 Según un modo de realización preferida, el divisor se realiza en óptica integrada en un sustrato de vidrio, mediante técnicas de intercambio de iones.

15 Según un modo de realización de la invención, dedicado especialmente a aplicaciones de telecomunicaciones, la primera y la segunda guías presentan anchuras respectivas W_1 y W_2 tales que el elemento divisor, teniendo en cuenta D_c y L_c , tenga un comportamiento acromático en las ventanas espectrales de funcionamiento de 1260 a 1360 nm, y de 1480 a 1660 nm.

20 Por lo general, se elige $W_1 = W_2 = W$.

Con preferencia, las guías se aproximan y/o se separan de forma simétrica.

Las pérdidas de exceso C pueden ser definidas a partir de la ecuación siguiente:

$$25 \quad C = 10 \log(P_{s1} + P_{s2})/P_E$$

donde P_{s1} , P_{s2} , P_E representan las potencias respectivas de la onda S_1 , S_2 y E .

30 La elección de los valores D_c , L_c , W_1 y W_2 permite compensar los fenómenos de acoplamiento de la luz entre las dos guías, las cuales son diferentes en función de las longitudes de onda, y disponer así de un elemento divisor acromático.

35 En efecto, cuando la distancia D entre las guías es superior al valor D_2 , no existe acoplamiento entre las guías. Cuando la distancia D entre las guías está comprendida entre la distancia D_s y una distancia D_x , las guías establecen un acoplamiento débil de proximidad que es más importante para las longitudes de onda altas (por ejemplo, 1480-1660 nm), que para las longitudes de onda bajas (por ejemplo, 1260-1360 nm). Por el contrario, cuando la distancia D entre las guías se hace pequeña y está comprendida entre D_x y D_c , se cambia entonces de régimen de funcionamiento y el fenómeno puesto en juego resulta ser entonces el acoplamiento fuerte de proximidad que es más débil para las 40 longitudes de onda altas (por ejemplo, 1480-1660 nm) que para las longitudes de onda bajas (por ejemplo, 1260-1360 nm). Este acoplamiento fuerte se realiza en particular sobre la longitud de onda L_c de la segunda parte.

45 Por otra parte, como D_c no es nula, la onda luminosa no experimenta en este divisor ninguna discontinuidad, lo que se traduce en pérdidas de exceso muy bajas. En un modo de realización preferida, D_c debe ser superior a D_{min} , siendo $D_{min} = 0,5 \mu m$.

El valor D_x puede definirse como la distancia que separa las dos guías a partir de la cual se invierte el acoplamiento de proximidad, de fuerte a débil, y a la inversa.

50 El elemento divisor 2 por 2, realizado según la invención, puede ser asimilado a dos tipos de acopladores de proximidad: un primer tipo de acoplador que funciona globalmente en régimen de acoplamiento débil que corresponde a las partes I y III del propio divisor si, según el valor de D_x , pueden existir zonas de acoplamiento fuerte en estas partes; un segundo tipo de acoplador que funciona en régimen de acoplamiento fuerte que corresponde a las partes II del divisor.

55 Por otro lado, en las partes I y III del elemento divisor que corresponden a acoplamientos débiles, la aproximación de las guías y/o el alojamiento de las guías puede hacerse según un arco de círculo de radio $R \geq R_c$, o según una función de tipo sinusoidal que presenta un radio de cobertura mínimo $R \geq R_c$. El valor R_c se define como el radio de curvatura crítico por encima del cual no hay pérdidas de curvatura a la longitud de onda más alta de las ventanas espectrales consideradas (por ejemplo, 1260-1360 nm y 1480-1660 nm), todo esto con el fin de minimizar las pérdidas de exceso del elemento divisor 2 por 2.

60 En uno de los modos de realización preferidos, el radio R se toma igual a R_c con el fin de limitar al máximo el acoplamiento débil de proximidad.

65 Por otra parte, cuanto más pequeño sea el radio R , más compacto será el elemento divisor. Resulta por tanto doblemente ventajoso elegir $R = R_c$.

En el caso de un divisor 2 por n, en óptica integrada, siendo n un número entero superior a 2, este divisor incluye en el sustrato un elemento divisor óptico 2 por 2, tal como el descrito anteriormente, y n-2 elementos divisores 1 por 2 dispuestos en cascada, de modo que el divisor incorpora 2 entradas correspondientes a las guías de entrada del elemento divisor 2 por 2, y n salidas.

Los elementos divisores 1 por 2 se eligen entre acopladores o uniones Y. Estos elementos divisores pueden ser simétricos o no.

Un elemento divisor disimétrico puede ser obtenido en el caso de un acoplador, jugando con la longitud de interacción del acoplador y/o sobre la sección de las diferentes vías de salida del acoplador.

Se puede obtener un elemento divisor disimétrico en caso de utilización de una unión Y jugando sobre la sección de las vías de salida de la unión y/o sobre el ángulo entre las vías de salida de la unión y el eje óptico de la vía de entrada de la unión.

Otras características y ventajas de la invención, se pondrán de manifiesto a la vista de la descripción que se va a realizar, y del examen de los dibujos anexos, cuya relación es la siguiente:

Breve descripción de las figuras

La Figura 1, ya descrita, representa esquemáticamente un divisor 2 por 2 conocido;

La Figura 2 representa esquemáticamente, en corte, un divisor 2 por 2 conforme a la invención;

La Figura 3 representa esquemáticamente gráficos útiles para el parametraje de las características Dc, W y Lc del elemento divisor según la invención;

La Figura 4 representa esquemáticamente la respuesta espectral del dispositivo de la Figura 2;

La Figura 5 representa esquemáticamente una primera variante de realización de un divisor 2 por n, cuando n es superior a 2, y

La Figura 6 representa esquemáticamente una segunda variante de realización de un divisor 2 por n, cuando n es superior a 2.

Descripción detallada de modos de puesta en práctica de la invención

La Figura 2 representa esquemáticamente un ejemplo de divisor 2 por 2 formado por un elemento divisor 2 por 2 según la invención, capacitado para dividir una onda luminosa E en dos partes S1 y S2 según una relación de división CR.

En este esquema, se ha representado un corte parcial de un sustrato 10, en un plano XY que contiene las diferentes direcciones de propagación de las ondas luminosas E, S1 y S2 en las guías ópticas de este elemento.

Este elemento divisor comprende en el sustrato 10, una primera y una segunda guías G1 y G2, con preferencia monomodos. Estas guías presentan, en este ejemplo, una anchura W idéntica. Ambas se combinan entre sí de una manera que dividen una onda luminosa E de entrada, introducida en una de las guías (por ejemplo G1), en una primera y una segunda ondas S1 y S2 de salida según la relación de división CR, estando la onda S1 vehiculada por la guía G1, y estando la onda S2 vehiculada por la guía G2. Si la onda luminosa E se introduce en el divisor a partir de la guía G2, entonces las guías G1 y G2 permiten proporcionar respectivamente por sus salidas las ondas S1 y S1 según la relación de división CR, pudiendo estas ondas ser diferentes de las proporcionadas por el divisor cuando la onda E se introduce por la guía G1.

Las guías G1 y G2 presentan respectivamente al menos tres partes:

- una primera parte I en la que las guías G1 y G2 se aproximan progresivamente hasta la distancia Dc que no es nula, y que es inferior a una distancia de umbral Ds correspondiente a la distancia mínima a partir de la cual la onda luminosa E de entrada introducida en una de las guías, ve la otra guía,
- una segunda parte II de longitud Lc, denominada de acoplamiento, en la que las guías G1 y G2 son paralelas entre sí y distantes el valor Dc,
- y una tercera parte III en la que las guías se separan progresivamente del valor Dc hasta un valor superior a Ds.

eligiéndose los valores de Dc, Lc y W de forma que se tenga un elemento divisor acromático a las longitudes de onda de funcionamiento.

ES 2 274 293 T3

Las distancias D_s , D_c son consideradas según la dirección Y del plano de corte de la figura, mientras que la longitud L_c se considera según la dirección X de este plano.

En el sector de las telecomunicaciones, las longitudes de onda de funcionamiento corresponden generalmente a las
5 ventanas espectrales de 1260-1360 nm y 1480-1660 nm.

Estas guías ópticas pueden ser realizadas en el sustrato mediante todos los tipos de técnicas y en particular
mediante técnicas de intercambio de iones o mediante técnicas de depósito y de grabado químico. La delimitación
de las guías puede estar asegurada mediante un enmascaramiento apropiado. Estas técnicas son bien conocidas en el
10 sector de la óptica integrada.

Según el tipo de técnica utilizada, el sustrato puede ser monocapa o multicapa. Por ejemplo, en el caso de las
técnicas por intercambio de iones, el sustrato puede ser de vidrio.

Con un divisor de ese tipo, una onda E luminosa introducida en la guía G1 se propaga por ésta, aproximándose
progresivamente a la guía G2, estableciendo así con ésta un acoplamiento de proximidad, una vez que la distancia
entre las guías G1 y G2 es inferior al valor de umbral D_s (correspondiendo D_s a la distancia mínima a partir de la
cual, para las longitudes de onda de funcionamiento consideradas, las dos guías se ven). Siempre que la distancia
D entre las guías G1 y G2 no sea demasiado pequeña, entonces el fenómeno puesto en juego es el de acoplamiento
20 de baja proximidad que es más importante para las longitudes de onda altas (por ejemplo 1480-1660 nm) que para
las longitudes de onda bajas (por ejemplo 1260-1360 nm). Por el contrario, cuando la distancia D entre las guías
monomodos se hace pequeña, se cambia entonces de régimen de funcionamiento y el fenómeno puesto en juego
consiste entonces en un acoplamiento fuerte de proximidad que es más débil para las longitudes de onda altas (1480-
1660 nm) que para las longitudes de onda bajas (1260-1360 nm).

El cambio de régimen de funcionamiento interviene para una distancia D_x entre guías que está comprendida entre
el valor D_s y el valor D_c .

De este modo, en la parte I, el acoplamiento de proximidad entre las guías pasa de un acoplamiento nulo (cuando
30 $D > D_s$) a un acoplamiento débil (cuando $D_s > D > D_x$) que es más importante para las longitudes de onda grandes
que para las pequeñas; a continuación, el acoplamiento de proximidad entre las guías pasa de un acoplamiento débil
(cuando $D_s > D > D_x$) a un acoplamiento fuerte (cuando $D_x \geq D \geq D_c$) que es más importante para las pequeñas
longitudes de onda que para las grandes. Este acoplamiento fuerte de proximidad se mantiene en la parte II en la
que la distancia D entre las guías G1 y G2 es igual a D_c ($D_x \geq D_c$). Por último, en la parte III, el acoplamiento
35 vuelve a pasar desde un acoplamiento fuerte (cuando $D_x \geq D \geq D_c$) a un acoplamiento débil (cuando $D_s > D > D_x$)
con, al igual que en lo que antecede, una inversión de comportamiento de acoplamiento para las longitudes de
onda altas y bajas. Por último, para una distancia D entre las guías superior a D_s , no hay acoplamiento entre las dos
guías.

Se obtiene así una onda luminosa E repartida según las dos ondas S1 y S2 en las dos guías monomodos G1 y G2.
Este comportamiento contrario entre el acoplamiento débil de proximidad y el acoplamiento fuerte de proximidad,
permite mediante el fenómeno de compensación, para valores de D_c , W y L_c bien elegidos, obtener un elemento divisor
acromático. Además, en este dispositivo, al no ser D_c nula, la onda luminosa no experimenta ninguna discontinuidad,
lo que se traduce en pérdidas de exceso muy débiles y en la supresión de la dependencia entre pérdidas de exceso y
45 cromatismo. D_c es superior a 0, y en uno de los modos de realización preferidos, D_c debe ser superior a D_{min} siendo
 $D_{min} = 0,5 \mu m$.

Los parámetros libres que permiten modificar el cromatismo, son: D_c , W y L_c , este último en menor medida como
se verá en la descripción que sigue. D_c , W y L_c tienen muy poca repercusión sobre las pérdidas de exceso, asegurando
50 así en general una independencia entre estas últimas y el cromatismo. Esta independencia facilita además la realización
del elemento divisor 2 por 2.

Según se ha visto en lo que antecede, la aproximación de las guías puede hacerse con un arco de círculo de radio
 $R \geq R_c$, o con una función de tipo seno que presenta un radio de curvatura R tal que $R \geq R_c$. Se define R_c como el
55 radio de curvatura crítica más allá del cual no hay pérdidas de curvatura a la longitud de onda más alta de las ventanas
espectrales de funcionamiento consideradas (por ejemplo 1260-1360 nm y 1480-1660 nm), todo esto con el fin de
minimizar las pérdidas de exceso del elemento divisor 2 por 2.

En uno de los modos de realización preferido, el radio R será considerado igual a R_c con el fin de limitar al máximo
60 el acoplamiento débil de proximidad. A título de ejemplo, $R_c = 30000 \mu m$.

El elemento divisor permite dividir una onda E en dos partes según una relación de división CR tal que:

$$CR = P_{s2} / (P_{s1} + P_{s2})$$

con relación a la guía G2 (ecuación 1)

$$(o CR = P_{s1} / (P_{s1} + P_{s2})$$

con relación a la guía G1)

siendo P_{s1} , P_{s2} , respectivamente, las potencias luminosas de las ondas S1 y S2.

Por otra parte, según se ha visto en lo que antecede, el elemento divisor 2 por 2 realizado según la invención, puede ser asemejado a dos tipos de acopladores de proximidad: un primer tipo de acoplador que funciona globalmente en régimen de acoplamiento débil que corresponde a las partes I y III del divisor incluso aunque, según el valor de D_x , puedan existir zonas de acoplamiento fuerte en estas partes; y un segundo tipo de acoplador que funciona en régimen de acoplamiento fuerte que corresponde a la parte II del divisor.

De una manera general, para la amplitud de onda, la matriz de transferencia T_i de un acoplador i , se escribe:

$$T_i = \begin{Bmatrix} \cos(K_i L_i) & \text{sen}(K_i L_i) \\ \text{sen}(K_i L_i) & \cos(K_i L_i) \end{Bmatrix}$$

El elemento divisor de la invención 2 por 2, siendo asemejado a 2 acopladores dispuestos uno tras otro, si se inyecta en la guía G1 una onda luminosa E, la potencia luminosa a la salida de la guía G2 puede escribirse:

$$P_{s2} = (P_{s1} + P_{s2}) \cdot (\text{sen}(K_a \cdot L_1) \cdot \cos(K_2 \cdot L_2) + \cos(K_2 \cdot L_1) \cdot \text{sen}(K_2 \cdot L_2))^2$$

o

$$P_{s2} = (P_{s1} + P_{s2}) \cdot \text{sen}^2(K_1 \cdot L_1 + K_2 \cdot L_2) \quad (\text{ecuación 2})$$

donde K_1 , L_1 son los parámetros del acoplador efectivo asociado a los brazos de aproximación en las partes I y III, y K_2 , L_2 son los parámetros del acoplador de acoplamiento fuerte asociado a la parte II. Así, $K_1 = K_{\text{débil}}$, $L_1 = L_{\text{ef}}$, y $K_2 = K_{\text{fuerte}}$, $L_2 = L_c$. Los coeficientes K_i de acoplamiento son funciones respectivamente de λ , de la anchura W de las guías y de la distancia D que las separa.

A partir de las ecuaciones 1 y 2, se puede escribir entonces la relación de división CR (por ejemplo, con relación a la guía G2) en forma de función sinusoidal, especialmente de L_c :

$$CR = \text{sen}^2(K_{\text{débil}}(\lambda, W, D_{\text{ef}}) \cdot L_{\text{ef}} + K_{\text{fuerte}}(\lambda, W, D_c) \cdot L_c) \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde:

$K_{\text{débil}}(\lambda, W, D_{\text{ef}})$ es el coeficiente de acoplamiento de proximidad del acoplador débil de distancia entre ejes efectiva D_{ef} con la longitud efectiva L_{ef} del elemento divisor que se puede asociar a las guías G1 y G2 en las partes I y III de proximidad,

λ es la longitud de onda considerada de la onda luminosa,

$K_{\text{fuerte}}(\lambda, W, D_c)$ es el coeficiente de acoplamiento de proximidad del acoplador fuerte de distancia entre ejes D_c y la longitud L_c del elemento divisor que se puede asociar a la parte II,

W es la anchura de las guías monomodos del elemento divisor 2 por 2.

El primer acoplador correspondiente, en la parte I y en la parte III, esencialmente a los brazos de aproximación de las curvas de las guías G1 y G2, presenta una distancia entre ejes efectiva D_{ef} que es bastante grande, ya que corresponde a la distancia media entre los brazos de proximidad. Debido a esto, el acoplador funciona en régimen de acoplamiento débil que está caracterizado por un acoplamiento más importante a longitudes de onda altas que a longitudes de onda bajas. $K_{\text{débil}}$ es por tanto una función creciente de l que depende de D_{ef} y de L_{ef} . Estos parámetros están relacionados directamente con el radio de curvatura medio R de los brazos de aproximación curvos de las guías

ES 2 274 293 T3

G1 y G2 en las partes I y III. El acoplamiento entre los brazos de aproximación aumenta cuando R aumenta, de modo que para limitar este acoplamiento, hace falta que R sea lo más pequeño posible. Con el fin de limitar este acoplamiento (R lo más pequeño posible), pero asimismo las pérdidas de exceso ($R \geq R_c$), resulta ventajoso tomar $R = R_c$ con R_c definido como el radio de curvatura mínimo más allá del cual no hay pérdidas de curvatura a las longitudes de onda más altas de las ventanas espectrales consideradas.

A título de ejemplo, $R_c = 30000 \mu\text{m}$.

El segundo acoplador de proximidad corresponde al menos a la parte II en la que las dos guías G1 y G2 son sensiblemente paralelas y distan D_c . En este acoplador, la distancia D_c debe ser pequeña con el fin de tener un fuerte acoplamiento entre las guías G1 y G2. Así, este acoplador funciona en régimen de acoplamiento fuerte para el que el acoplamiento es más importante a longitudes de onda bajas que a longitudes de onda altas. K_{fuerte} es por tanto una función decreciente de λ contrariamente a $K_{\text{débil}}$. El coeficiente K_{fuerte} depende de los parámetros W y D_c (cuando estos últimos aumentan, el coeficiente de acoplamiento K_{fuerte} disminuye), así como de λ . Con el fin de limitar eventuales pérdidas de desadaptación de modo, se preconiza tomar $D_c \geq D_{\text{min}}$.

La variación contraria de $K_{\text{débil}}$ y de K_{fuerte} se traduce mediante la posibilidad de obtener una relación de división entre los dos brazos de salida de las guías G1 y G2 (en la parte III) muy poco dependiente de λ . Para ello es necesario que la evolución en función de λ de $K_{\text{débil}}$ y de K_{fuerte} sea prácticamente idéntica, pero de sentido contrario. Los parámetros que permiten obtener esta compensación entre el acoplamiento fuerte y el acoplamiento débil son D_c y W.

La Figura 3 representa, para diferentes longitudes de onda, las variaciones de CR en función de L_c para valores de $D_c = 1,2 \mu\text{m}$ y $W = 2,8 \mu\text{m}$.

Estas curvas han sido obtenidas experimentalmente haciendo variar L_c de 0 a $450 \mu\text{m}$ para las longitudes de onda de 1260 nm (curva 41), 1360 nm (curva 42), 1480 nm (curva 43) y 1660 nm (curva 44).

De ese modo, en vista de la ecuación 1 y según muestra la Figura 3, la relación de división CR entre los brazos de salida de las guías es una función sinusoidal de L_{fuerte} , y por tanto de L_c . El parámetro L_c permite así ajustar esta relación de división. En caso de que exista compensación entre el acoplamiento fuerte y el acoplamiento débil para una ventana espectral dada, entonces las variaciones de CR en función de L_c , asociadas a las longitudes de onda de esta ventana espectral, son sinusoides muy próximas unas a otras, como muestra la Figura 3. Cuanto más se confundan las sinusoides, más acromático es el elemento divisor 2 por 2. El estudio de CR en función de L_c permite parametrizar el elemento divisor.

Si los períodos de la función sinusoidal CR (L_c) son más largos a longitudes de onda altas que a longitudes de onda bajas, entonces la zona de acoplamiento fuerte (parte II esencialmente) compensa demasiado las zonas de acoplamiento débiles (partes I y III). En este caso hay que aumentar D_c y/o W para tener una buena compensación cromática entre estas dos zonas.

Las curvas de la Figura 4 ilustran, para un elemento divisor 2 por 2 como el representado en la Figura 2, las pérdidas totales (con las pérdidas de exceso) de la onda luminosa entre la entrada por una de las guías y la salida de esta onda por una de las guías, en función de las longitudes de onda.

Así, se han representado las pérdidas para una onda E:

- entrando por la guía G1 y saliendo por la guía G1 (curva E_{G1} , S1 referenciada con 31);
- entrando por la guía G1 y saliendo por la guía G2 (curva E_{G1} , S2 referenciada con 32);
- entrando por la guía G2 y saliendo por la guía G1 (curva E_{G2} , S1 referenciada con 33);
- entrando por la guía G2 y saliendo por la guía G2 (curva E_{G2} , S2 referenciada con 34).

Estas curvas han sido obtenidas para un elemento divisor 2x2 en el que $L_c = 220 \mu\text{m}$, CR = 0,5. Las pérdidas de exceso de este elemento son débiles e inferiores a 0,15 dB.

Se observa en la Figura 4 que en las ventanas espectrales 1260-1360 nm y 1480-1660 nm las pérdidas totales no varían más de 0,5 dB, pudiéndose decir que este elemento divisor es muy poco cromático y presenta pérdidas de exceso muy débiles.

Según un modo ventajoso, se puede elegir, para un elemento divisor 2 por 2 según la invención que asegure una relación de división de 0,5 y que funcione en las ventanas espectrales de 1260-1360 nm y 1480-1660 nm:

- anchuras W de guías tales que $W < W_c$, donde W_c es la anchura máxima para la que las guías son monomodos para longitudes de onda superiores a 1260 nm;

ES 2 274 293 T3

- un radio de curvatura R de las guías en las partes I y III tal que $R = R_c$, donde R_c es el radio de curvatura mínimo para el que las pérdidas de curvatura a 1660 nm son despreciables;
- D_c y W tales que las curvas de variación de la relación de división CR en función de L_c se confundan para las longitudes de onda pertenecientes a las ventanas espectrales 1260-1360 nm y 1480-1660 nm;
- L_c tal que la relación de división CR sea igual a 0,5.

A título de ejemplo, se puede elegir:

- D_c entre 0,6 a 2,6 μm ,
- W entre 1,6 μm a W_c ,
- L_c entre 0 a 450 μm .

Las Figuras 5 y 6 representan respectivamente, de forma esquemática, un divisor 2 por n según la invención, en el caso particular de $n = 4$.

Estas Figuras ilustran un corte parcial del substrato 10, en un plano XY que contiene las diferentes direcciones de propagación de las ondas luminosas en el divisor de la invención.

Este divisor incluye en el substrato 10, un elemento divisor 15 de tipo 2 por 2, tal como el que se ha descrito con referencia a la Figura 2, en cascada con 2 elementos divisores de tipo 1 por 2, que pueden ser simétricos o no.

De ese modo, cada uno de los extremos de salida de las guías $G1$ y $G2$ del elemento 15 se ha conectado ópticamente a un divisor de tipo 1 por 2, de modo que el divisor incluye al final dos entradas referenciadas como $A1$ y $A2$ capacitadas para recibir una onda E , y 4 salidas referenciadas como $B1$, $B2$, $B3$, $B4$ capacitadas para proporcionar a la salida respectivamente una onda $S1$, $S2$, $S3$, $S4$.

En la Figura 5, los 2 elementos divisores 1 por 2, han sido realizados por medio de las uniones en Y referenciadas con 21 y 23, estando la unión 21 realizada en la guía $G1$ mientras que la unión 23 se ha realizado en la guía $G2$. La unión 21 incluye además dos guías de salida, $G'1$ capacitada para suministrar la onda de salida $S1$, y $G3$ capacitada para suministrar la onda de salida $S3$; la unión 23 incluye asimismo dos guías de salida, $G'2$ capacitada para suministrar la onda de salida $S2$, y $G4$ capacitada para suministrar la onda de salida $S4$.

Para obtener relaciones de división diferentes de 0,5 entre las distintas ramas de cada unión Y , se juega sobre la sección de las guías de salida de la unión y/o sobre el ángulo entre las guías de salida de la unión y el eje óptico de la guía de entrada de la unión.

En la Figura 6, los 2 elementos divisores 1 por 2 han sido realizados mediante los acopladores 25 y 27. El acoplador 25 se ha realizado por medio de la guía $G1$ y con una guía $G5$ de la que una parte se encuentra situada en las proximidades de la guía $G1$, a efectos de acoplar una parte de la onda vehiculada por la guía $G1$ con la guía $G5$. Las guías $G1$ y $G5$ proporcionan así a la salida las ondas $S1$ y $S3$. El acoplador 27 se realiza mediante la guía $G2$ y una guía $G6$ de la que una parte se encuentra situada en las proximidades de la guía $G2$, con el fin de acoplar una parte de la onda vehiculada por la guía $G2$, con la guía $G6$. Las guías $G2$ y $G6$ proporcionan así a la salida las ondas $S2$ y $S4$.

Para obtener relaciones de división diferentes de 0,5 entre las diferentes salidas de los acopladores, se juega sobre la longitud de interacción del acoplador y/o sobre la sección de las diferentes guías de salida del acoplador.

REIVINDICACIONES

1. Divisor 2 por n en óptica integrada, siendo n un número entero superior o igual a 2, que incluye, en un sustrato, al menos un elemento (15) divisor óptico 2 por 2, comprendiendo este elemento una primera y una segunda guías (G1, G2) de anchuras W1 y W2 respectivamente, capacitadas para dividir una onda luminosa (E) de entrada introducida en una de las guías, en una primera y una segunda ondas (S1, S2) de salida transportadas respectivamente por la primera y la segunda guías; presentando respectivamente estas primera y segunda guías al menos tres partes:

- una primera parte (I), de un primer tipo de acoplamiento, en la que la primera y la segunda guías se aproximan progresivamente hasta una distancia Dc que no es nula, pero inferior a una distancia Ds de umbral correspondiente a la distancia mínima a partir de la cual la onda luminosa de entrada introducida en una de las guías es susceptible de ser acoplada, al menos en parte, con la otra guía,
- una segunda parte (II), de un segundo tipo de acoplamiento, de longitud Lc, denominada de acoplamiento, en la que las citadas guías son sensiblemente paralelas entre sí y distan el valor Dc,
- y una tercera parte (III), de un primer tipo de acoplamiento, en la que las guías se separan progresivamente del valor Dc para alcanzar una distancia de valor superior a Ds, estando los valores Dc, Lc, W1 y W2 elegidos de modo que se obtenga un elemento divisor acromático a las longitudes de onda de funcionamiento del divisor, estando los valores Dc y Lc elegidos de modo que el primer tipo de acoplamiento y el segundo tipo de acoplamiento varían inversamente con las citadas longitudes de onda,

que se **caracteriza** porque:

el elemento divisor 2 por 2 que funciona en las ventanas espectrales de 1260-1360 nm y 1480-1660 nm y que presenta una relación de división CR igual a 0,5, se elige de modo que las anchuras W1 y W2 van desde 1,6 μm a Wc, la distancia Dc va desde 0,6 a 2,6 μm , y la longitud Lc va desde 0 a 450 μm , siendo Wc la anchura máxima para la que las guías son monomodos para las citadas ventanas espectrales.

2. Divisor según la reivindicación 1, que se **caracteriza** porque el sustrato es vidrio y las guías se han realizado por intercambio de iones en el sustrato.

3. Divisor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, que se **caracteriza** porque:

la primera y la segunda guías (G1, G2) presentan anchuras respectivas W1 y W2 tales que el elemento divisor 2 por 2, teniendo en cuenta los valores de Dc y de Lc, tenga un comportamiento acromático en las ventanas espectrales de funcionamiento de 1260 a 1360 nm y de 1480 a 1660 nm.

4. Divisor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que se **caracteriza** porque:

las guías (G1, G2) del elemento divisor 2 por 2 se aproximan y/o se separan de forma simétrica.

5. Divisor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que se **caracteriza** porque:

el valor Dc es inferior o igual a un valor Dx correspondiente a la distancia que separa la primera y la segunda guías, para la que el acoplamiento entre las citadas guías se invierte de fuerte a débil y a la inversa, significando el acoplamiento débil un acoplamiento más importante a las longitudes de onda altas que a las longitudes de onda bajas, y significando el acoplamiento fuerte un acoplamiento más importante a las longitudes de onda bajas que a las longitudes de onda altas.

6. Divisor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que se **caracteriza** porque:

en las primera y tercera partes del elemento divisor 2 por 2, la aproximación de las primera y segunda guías y/o el alejamiento de las citadas guías, se realiza según un arco de círculo de radio $R \geq R_c$, o según una función de tipo sinusoidal que presenta un radio de curvatura R mínimo tal que $R \geq R_c$, donde R_c se define como el radio de curvatura crítico por encima del cual no hay pérdidas de curvatura a la longitud de onda más alta de las longitudes de onda de funcionamiento.

7. Divisor según la reivindicación 6, que se **caracteriza** porque $R = R_c$.

8. Divisor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que se **caracteriza** porque:

siendo n superior a 2, este divisor incorpora en el sustrato un elemento divisor óptico 2 por 2, y n-2 elementos divisores 1 por 2 dispuestos en cascada de modo que el divisor incluye 2 entradas correspondientes a la primera y a la segunda guías del elemento divisor 2 por 2, y n salidas.

9. Divisor según la reivindicación 8, que se **caracteriza** porque los n-2 elementos divisores 1 por 2 se eligen entre los acopladores y/o las uniones Y.

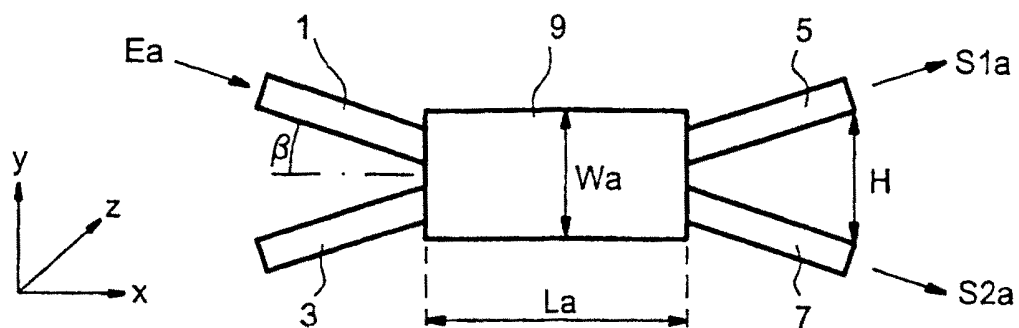


FIG. 1

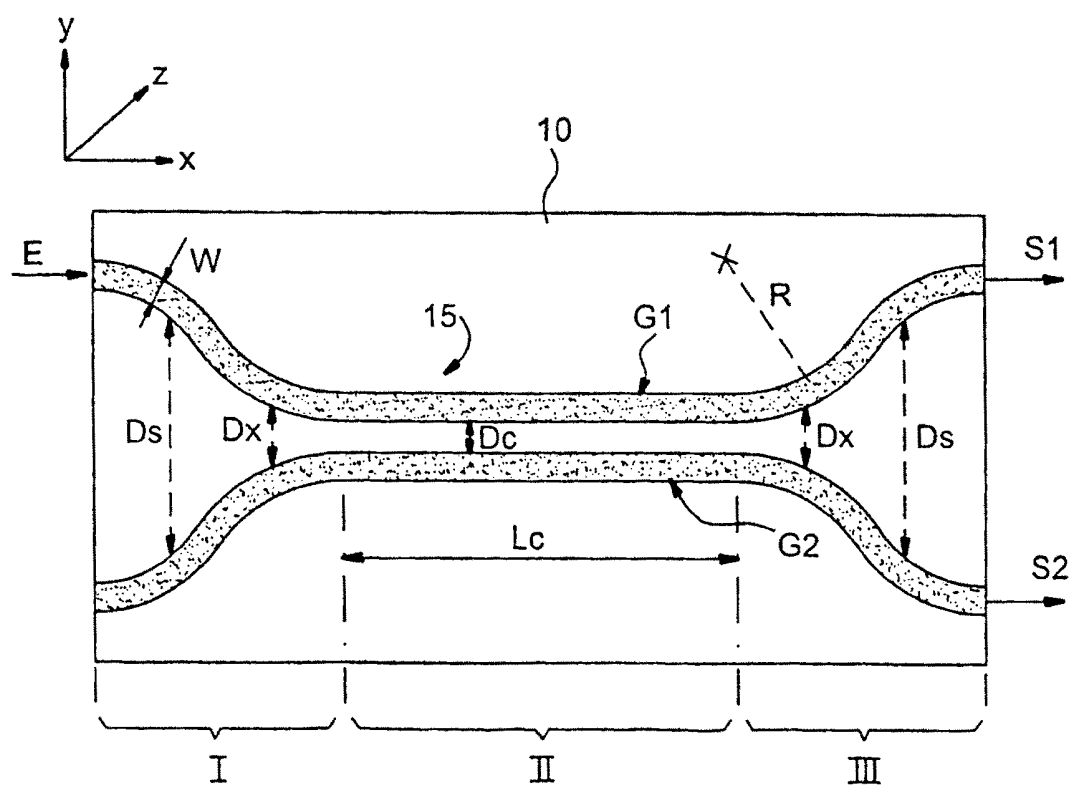


FIG. 2

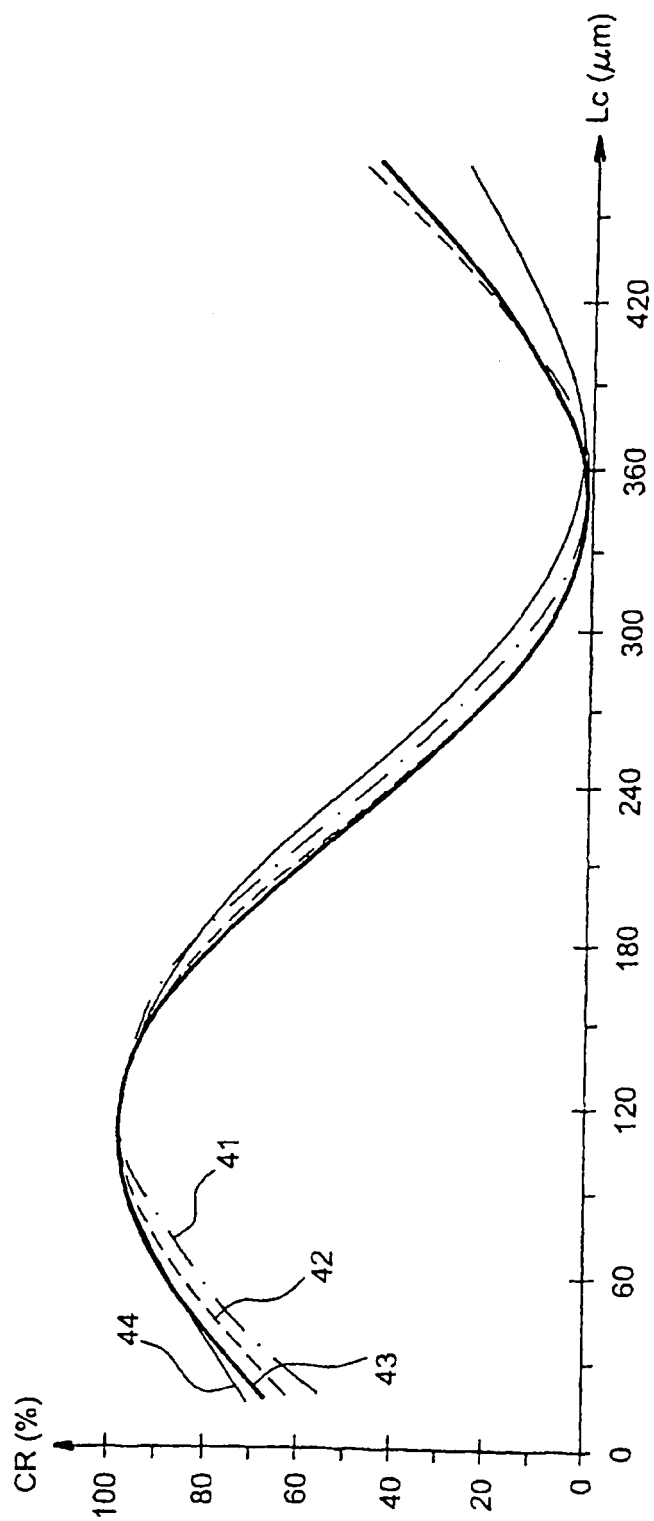


FIG. 3

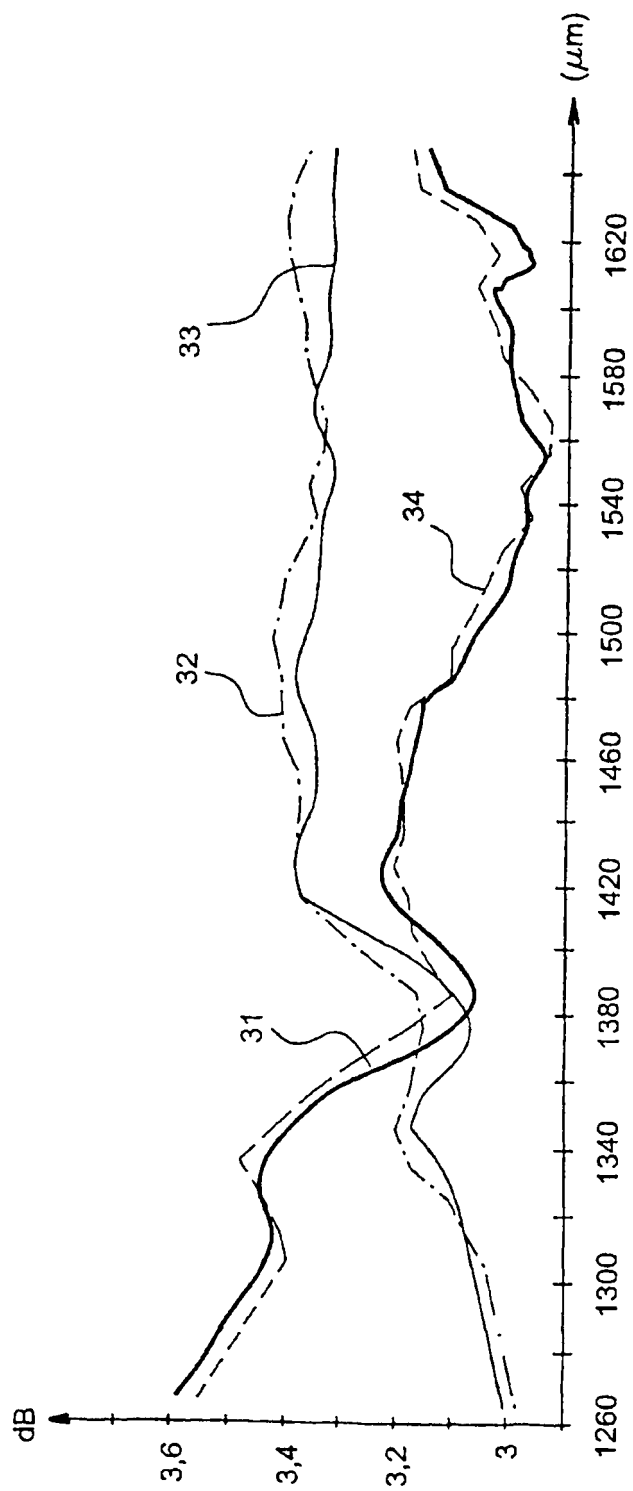


FIG. 4

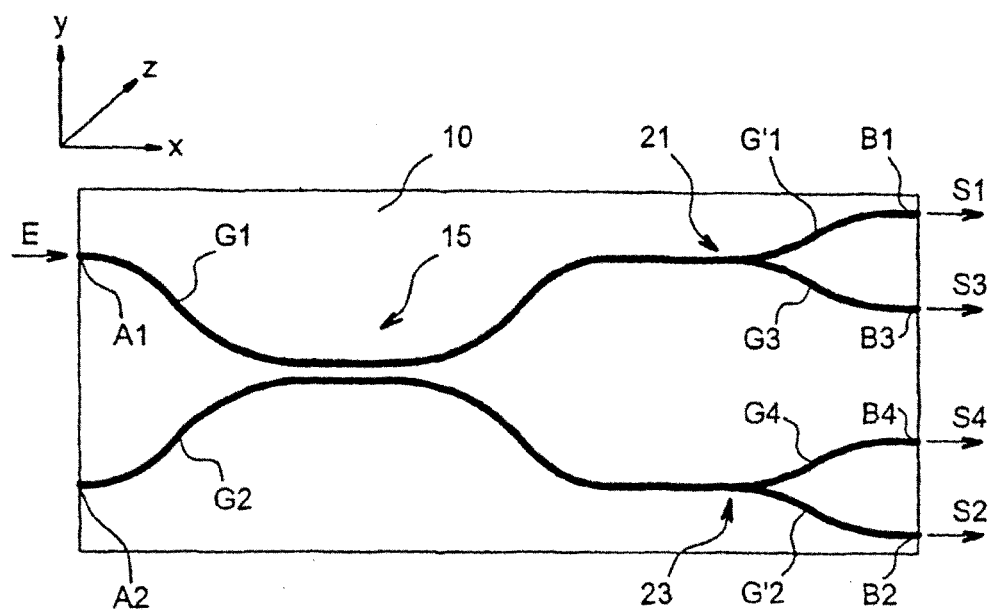


FIG. 5

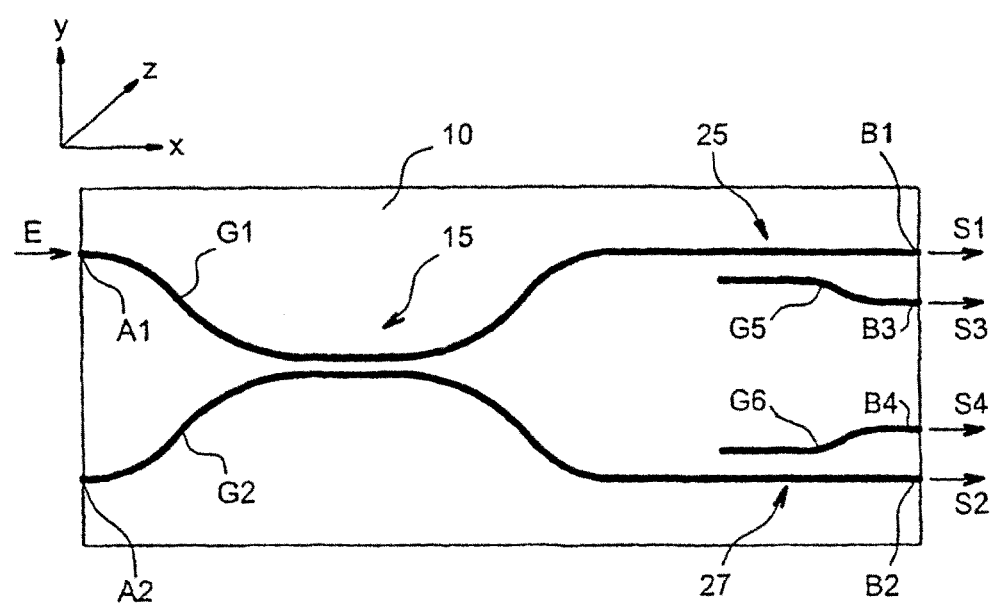


FIG. 6