



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 090**

51 Int. Cl.:
G02B 6/125 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03745808 .0**

96 Fecha de presentación : **11.04.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1495350**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.01.2005**

54 Título: **Guía de ondas óptica.**

30 Prioridad: **11.04.2002 FI 20020698**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
31.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
31.05.2011

73 Titular/es:
VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
Vuorimiehentie 5
02150 Espoo, FI

72 Inventor/es: **Aalto, Timo**

74 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 360 090 T3

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

Guía de ondas óptica

La invención se refiere a un circuito óptico integrado según el preámbulo de la reivindicación 1.

5 La invención también se refiere a un procedimiento para fabricar un circuito óptico integrado según el preámbulo de la reivindicación 5.

10 Un circuito integrado está constituido por un conjunto de elementos, dispositivos y/o conexiones externas de circuito óptico, que están conectados de forma fija entre sí mediante guías de onda ópticas y que están dispuestos sobre un sustrato común. Por ejemplo, fuentes y detectores de luz, divisores de potencia, interruptores, multiplexores y desmultiplexores de longitud de onda, y conexiones de fibra pueden ser elementos de circuito. Estos han sido fabricados mediante el mismo o un procedimiento diferente que las guías de ondas ópticas que los conectan.

15 En lo sucesivo, la guía de ondas se refiere a una estructura tridimensional dispuesta sobre un sustrato plano que transfiere la luz desde un plano a otro en un circuito integrado. La dirección de la guía de ondas en el plano del sustrato puede ser constante, o puede cambiar de una manera que se curva lentamente o girando bruscamente. La sección transversal de la guía de ondas puede ser constante, o puede cambiar lenta o súbitamente. A menudo hay varias de dichas secciones de guía de ondas diferentes secuencialmente. El material básico del sustrato es, por ejemplo, silicio, compuesto semiconductor o vidrio. El material de la guía de ondas puede ser, por ejemplo, silicio, compuesto semiconductor, vidrio o una sustancia orgánica.

20 La guía de ondas tiene cierta distribución tridimensional del índice de refracción $n(x, y, z)$ que, junto con la atenuación del material, determina cómo la luz con cierta longitud de onda λ viaja en la guía de ondas y cuáles son sus pérdidas de propagación. La longitud de onda λ usada de luz, generalmente radiación óptica, se extiende desde la luz visible a cerca del infrarrojo.

25 La sección transversal de la guía de ondas está en un plano perpendicular a la dirección de la propagación de la luz, es decir el eje z o la dirección z . La sección transversal de una guía de ondas recta es constante, y su distribución del índice de refracción $n(x, y)$ es sustancialmente bidimensional. En base a la sección transversal, el número de modos de propagación diferenciados en una guía de ondas recta, los índices efectivos y las distribuciones de campo transversales pueden calcularse de forma teórica. Los cálculos se realizan habitualmente de forma numérica, ya que generalmente no hay disponible ninguna solución analítica. El índice efectivo describe la velocidad de la luz acoplada al modo a lo largo de la guía de ondas, ya que el índice de refracción del material describe la velocidad de una onda plana óptica en él. Los modos pueden dividirse generalmente en dos grupos según su polarización, cuya diferencia depende de la asimetría de la guía de ondas y/o la birrefringencia de los materiales. Para simplificar la descripción, a continuación solamente se examinan modos del llamado tipo TE (eléctrico cuasi-transversal), pero todos los principios también se aplican a otros modos de polarización, tales como modos del tipo TM (magnético cuasi-transversal).

35 Un caso especial de una guía de ondas recta es una llamada guía de ondas en placa, que no ha sido modelada en la dirección horizontal, es decir la dirección x a lo largo de la superficie del sustrato. La distribución del índice de refracción $n(y)$ de la guía de ondas en placa es sustancialmente unidimensional, y corresponde a una guía de ondas recta infinitamente ancha o estrecha. El número de modos de propagación diferenciados, índices efectivos y distribuciones de campo verticales puede calcularse para la guía de ondas en placa con el mismo principio que para guías de onda finitamente anchas, pero de forma más sencilla.

40 La propagación de modos en una guía de ondas recta se basa en la reflexión interna total de luz entre el área central de la guía de ondas y las áreas que la rodean en dirección tanto horizontal como vertical. Esto requiere que el índice de refracción del área central sea mayor que el índice de refracción de los materiales que la rodean. Cuando se trata de una guía de ondas de tipo cresta o una estructura similar, una llamada diferencia de índice efectivo puede sustituir a la diferencia de índice de refracción de los materiales en cualquier dirección. En la práctica, la absorción del material y la dispersión a partir de interfaces de material no ideales también influyen en la propagación. Además de los modos de propagación, un número infinito de los llamados modos de radiación, que no se basan en la reflexión interna total, puede calcularse para una guía de ondas recta. Una distribución de campo óptico arbitraria acoplada a una guía de ondas recta puede presentarse de forma inequívoca como una suma ponderada de modos de propagación y de radiación. La potencia conectada a los modos de radiación irradia gradualmente alejándose de la guía de ondas.

45 Aquellas diferentes a las guías de onda rectas generalmente no tienen modos de propagación que tienen distribuciones de potencia transversales y ninguna radiación continua de potencia lejos del área central. Sobre la base de la simetría del cilindro, pueden calcularse modos diferenciados con propagación curvilínea para guías de ondas con un radio de curvatura constante, pero las distribuciones de campo que se atenúan de forma finita de todas las guías de onda curvadas irradian potencia en la dirección de la curva externa (véanse las publicaciones de referencia 1, 2). También el funcionamiento de otras guías de onda, además de las rectas, puede presentarse con ayuda de modos,

pero para ellas el número y los índices efectivos de los modos, las distribuciones de campo de los modos y/o las proporciones de potencia de los modos pueden cambiar. A medida que la sección transversal cambia o la dirección de la guía de ondas cambia, la potencia óptica habitualmente se acopla entre modos. Sin embargo, en las llamadas estructuras de guía de ondas adiabáticas, que cambian de forma suficientemente lenta en la dirección de propagación, la potencia no se transfiere nunca de un modo a otro, sino que la potencia permanece en el mismo modo de guía de ondas que lentamente cambia su distribución de campo.

Se pretende que la sección transversal de una guía de ondas recta se disponga de modo que permita, al menos, que el llamado modo fundamental, cuyo número de modo m es 0, se propague en la guía de ondas y, de la forma más preferente, con pérdidas lo más pequeñas posible. Una guía de ondas con solamente un modo de propagación ($m = 0$) se denomina una guía de ondas de modo único (SM). Una guía de ondas con más de un modo de propagación (los números de modo $m = 0, 1, 2, \dots$) se denomina una guía de ondas de modo múltiple (MM). En una guía de ondas de modo múltiple, la potencia no se transfiere necesariamente desde el modo fundamental a modos superiores. Una conexión de guía de ondas de modo único puede estar constituida, por ejemplo, por secciones de guía de ondas de modo único y secciones de guía de ondas de modo múltiple, pero adiabática entre ellas (publicación de referencia 2). Especialmente en tecnología de telecomunicaciones, los circuitos ópticos integrados generalmente tienen que ser de modo único, cuando se examinan de forma externa. Los elementos de circuitos ópticos integrados más complejos (divisores de potencia, etc.) a menudo están constituidos por estructuras de guía de ondas de modo múltiple, incluso en sistema de modo único.

Una guía de ondas recta 1; 4, que se dispone sobre un sustrato plano 2, es conocida de antes y se ilustra en las Figuras 1 y 2. La guía de ondas tiene una nervadura 1¹; 4¹ modelada en el material central y que propaga la luz en cierta dirección lineal. No se requiere necesariamente que las paredes laterales de la nervadura sean verticales, sino que también pueden ser, por ejemplo, oblicuas o redondeadas. Entre la nervadura y el sustrato hay una o varias capas de material. En consecuencia, una o varias capas de material 3 pueden estar en los lados de la nervadura. Las capas de material pueden ser de material sólido, líquido o gaseoso. Sin embargo, la distribución del índice de refracción de la sección transversal de la guía de ondas es siempre tal que permite al menos un modo de propagación. Solamente aquellas capas y áreas de material, a las que se extiende la distribución de potencia óptica de al menos un modo de propagación, se incluyen generalmente en la estructura de guía de ondas teórica, en dirección tanto horizontal como vertical. Al mismo tiempo, se supone que las capas y áreas de material más externas se extienden infinitamente lejos.

En una guía de ondas conocida 1, Figura 1, el índice de refracción de la nervadura 1¹ es mayor que los índices de refracción de los materiales circundantes. Independientemente de la forma de las paredes laterales, dicha guía de ondas se denomina en lo sucesivo una guía de ondas en banda. En ésta, la luz habitualmente experimenta una reflexión interna total en las superficies horizontales y verticales que limitan la nervadura. Si existen varias capas de material por encima o por debajo de la nervadura, la reflexión interna total puede producirse como alternativa solamente en alguna interfaz externa. Si las capas por encima y por debajo de la guía de ondas en banda tienen los mismos o casi los mismos índices de refracción, y si sus paredes laterales son verticales, la estructura de la guía de ondas es simétrica, además de en la dirección horizontal, también en la dirección vertical. En este caso, también la distribución de campo del modo fundamental de la guía de ondas en banda es simétrica en dirección vertical.

En una segunda guía de ondas conocida 4, Figura 2, la nervadura (o cresta) 4¹ está dispuesta sin fisuras sobre una fina capa no modelada del mismo material central, es decir el elemento de base 4². La nervadura 4¹ y el elemento de base 4² desde la guía de ondas de tipo cresta 4. En la guía de ondas de tipo cresta, la reflexión interna total vertical se produce en las interfaces de material horizontal siguiendo el mismo principio que en la guía de ondas en banda. Sin embargo, la reflexión interna total horizontal se basa en la llamada diferencia de índice efectivo (véase la publicación de referencia 1). En el caso de paredes laterales verticales, la diferencia de índice efectivo aproximada se obtiene comparando los índices efectivos calculados para las distribuciones de índice de refracción unidimensionales verticales en el centro y en un lado de la nervadura. Sin embargo, para un análisis de guía de ondas exacto es necesario recurrir a procedimientos numéricos bidimensionales. La estructura de índice de refracción de la guía de ondas de tipo cresta es asimétrica en dirección vertical, y debido a esto, también la distribución de campo de su modo fundamental es asimétrica en dirección vertical. A medida que la diferencia de índice efectivo de la guía de ondas de tipo cresta disminuye, por ejemplo, después del estrechamiento o pérdida de altura de la nervadura, la asimetría de su distribución de campo aumenta simultáneamente en dirección vertical.

La base en un procedimiento conocido, el procedimiento de grabado, para fabricar una o varias guías de onda que se dispondrán en un circuito óptico integrado es un sustrato plano, sobre el cual se dispone previamente una capa central no modelada inicialmente de la guía de ondas, así como una o varias capas de material. La capa más superior, la llamada capa protectora, está modelada mediante uno o varios procedimientos alternativos conocidos de modo que un llamado patrón de proceso se reproduce en ésta como una máscara protectora. Los procedimientos de modelado con capa protectora conocidos se presentan a continuación. El patrón de proceso se refiere a un patrón bidimensional que determina para qué áreas de la sustancia la capa protectora se retirará y en qué áreas se dejará. En su forma más sencilla, la estructura de control de la luz es una guía de ondas recta, en la que el patrón de proceso comprende una línea de anchura constante. Generalmente un patrón de proceso presenta, sin embargo, todas

las estructuras de guía de ondas que se procesarán a un sustrato. En la fase de grabado, la estructura en la parte superior se graba usando uno de los varios procedimientos conocidos, de modo que la máscara protectora modelada proteja a las partes de la capa o capas de material por debajo de ésta, y el patrón de proceso se reproduce de este modo en dichas capas. Los procedimientos de grabado conocidos son, entre otros, grabado húmedo y seco. Un procedimiento de grabado seco preferible es grabado por ICP (plasma acoplado inductivamente). Si hay una o varias llamadas capas de máscara dura entre el material protector y el central, el grabado de la estructura se realiza en diversas fases diferentes. En este caso, el patrón de la máscara protectora se produce en primer lugar en la primera capa de máscara dura mediante grabado. La estructura generada puede usarse a continuación como nueva máscara en el grabado de la siguiente capa de máscara dura, y así sucesivamente. Después del modelado de la última capa de máscara dura, la nervadura se modela finalmente hasta el material central mediante grabado. Entre y después de los grabados, las capas de máscara dura o protectora superiores pueden retirarse mediante fases de grabado intermedias selectivas con el material. Después del modelado de la nervadura, capas de material de revestimiento pueden colocarse o formarse de otro modo en la parte superior de y en los lados de la nervadura.

Los procedimientos de modelado con capa protectora conocidos son, entre otros, litografía óptica, litografía por haz de electrones, litografía de máscara en fase, y litografía de estampación mecánica. El uso de la litografía óptica preferible en el procedimiento de grabado se describe a continuación con más detalle. En la litografía óptica, el patrón de proceso se forma en primer lugar en la superficie de una placa de vidrio diferente para proporcionar una llamada máscara de exposición. Un material sensible a la luz, tal como luz ultravioleta, se usa como la capa protectora. Cierta sección de la superficie del sustrato está cubierta por los patrones metálicos de la máscara de exposición, y las secciones no cubiertas de la superficie se exponen a luz UV. En el desarrollo de la capa protectora, la capa protectora se retira de las áreas expuestas o no expuestas, dependiendo del proceso de capa protectora usado.

La base en un segundo procedimiento conocido, el procedimiento de desarrollo, en la fabricación de una o varias guías de onda que se dispondrán en un circuito óptico integrado es un sustrato, sobre el cual una guía de ondas con las propiedades deseadas se desarrolla a partir de uno o varios materiales. En el procedimiento de desarrollo, una estructura que controla el desarrollo está formada habitualmente en el soporte usando el procedimiento de grabado antes del desarrollo, dirigiendo la estructura el desarrollo de nuevas capas de material solamente en los lugares deseados.

Una desventaja de las guías de onda conocidas mencionadas anteriormente y sus procedimientos de fabricación es la deficiencia de su versatilidad. En todas ellas, solamente se usa un patrón de proceso para determinar una guía de ondas, en cuyo caso la anchura de la guía de ondas, la diferencia de índice efectivo, el número de modos y la simetría/asimetría de la distribución de campo no pueden determinarse libremente por separado.

El objeto de la invención es eliminar las desventajas relacionadas con el circuito óptico integrado desvelado anteriormente y su fabricación. El objeto de la invención también es conseguir un nuevo circuito óptico integrado y un nuevo procedimiento para su fabricación.

El circuito óptico integrado de la invención se caracteriza por lo que se describe en la reivindicación 1.

El procedimiento de la invención para fabricar un circuito óptico integrado se caracteriza por lo que se describe en la reivindicación 5.

Las reivindicaciones dependientes dan a conocer realizaciones ventajosas de la invención.

El circuito óptico integrado según la invención comprende una guía de ondas de tipo cresta y una guía de ondas en banda y una guía de ondas de conversión entre ellas, estando las guías de ondas dispuestas sobre un sustrato plano y teniendo una sección central que propaga la luz en cierta dirección, la dirección de propagación.

Según la invención, la sección central de la guía de ondas de conversión está hecha de uno y mismo material, de modo que la sección transversal a la dirección de propagación de la luz tenga dos escalones a ambos lados, y guía de ondas de conversión en la que hay dos capas de diferentes anchuras, siendo la altura de la primera capa igual a la altura de la cresta de la guía de ondas de tipo cresta y siendo la altura de la segunda capa igual a la altura de la parte de base de la guía de ondas de tipo cresta, y en la que la suma de las alturas de las capas es igual a la altura de la guía de ondas en banda, estando las anchuras de las dos capas dispuestas para cambiar de forma uniforme entre las guías de ondas a conectar para encajarlas juntas lateralmente.

La sección central de la guía de ondas según la invención forma una nervadura con respecto al sustrato, cuyos dos lados longitudinales están constituidos por dos escalones, estando cada escalón único provisto de una pared y un plano de escalera correspondiente. Los escalones están formados a continuación de paredes y planos de escalera que se repiten de forma alterna. Debe observarse que las paredes no son necesariamente verticales, sino que pueden ser, por ejemplo, oblicuas o redondeadas. Respectivamente, los planos de escalera de los escalones no son necesariamente rectos, especialmente planos horizontales, dado que también pueden ser oblicuos y/o redondeados. Sin embargo, los escalones adyacentes son identificables por separado, y su ubicación se determina en base a

diferentes patrones de proceso o diferentes combinaciones de patrones de proceso.

El circuito óptico integrado de la invención está hecho de la forma más preferente sobre un sustrato semiconductor, especialmente una oblea de silicio. El circuito es procesado sobre un sustrato plano y especialmente sobre una capa central que propaga la luz, encima de ésta, de la forma más preferente mediante un procedimiento de la invención.

5 La ventaja de la invención es que permite una conversión adiabática del tipo de guía de ondas desde una guía de ondas de tipo cresta a una guía de ondas en banda. En estructuras con una gran diferencia de índice de refracción y a grandes rasgos idénticas dimensiones mayores que la longitud de onda, la guía de ondas de tipo cresta puede ser de modo único y la guía de ondas en banda respectiva claramente de modo múltiple. Gracias a la invención, son posibles sencillas variaciones de guías de ondas de modo único a guías de ondas de modo múltiple en dirección
10 tanto vertical como horizontal.

La ventaja de la invención también es que, con la ayuda de ésta, la pequeña diferencia de índice efectivo de la guía de ondas de tipo cresta puede cambiarse de forma adiabática a la muy grande diferencia de índice efectivo de la guía de ondas en banda.

15 Las guías de onda ópticas en banda con una gran diferencia de índice efectivo tienen considerables ventajas, en comparación con las guías de onda de tipo cresta con una pequeña diferencia de índice efectivo. Pueden, por ejemplo, proporcionar curvas de guía de ondas muy pequeñas con pequeñas pérdidas, y los llamados espejos de guía de ondas que cambian bruscamente la dirección de la luz en base a la reflexión interna total. Con ellas también es posible proporcionar considerablemente más modos de propagación, especialmente horizontal, a una guía de ondas de cierta anchura. Este gran número de modos horizontales puede utilizarse, por ejemplo, para reducir el
20 tamaño de los llamados acopladores de interferencia de modo múltiple (acopladores MMI), que se basan en la interferencia controlada entre modos horizontales. La longitud de un acoplador MMI crece generalmente de forma cuadrática con respecto a la anchura de una guía de ondas MMI, y el mínimo de la anchura se determina de nuevo en base al número mínimo de modos requeridos. En la guía de ondas en banda, el gran número de modos hace posible usar guías de onda MMI claramente más estrechas, de modo que la longitud del acoplador MMI pueda acortarse considerablemente. Cuando se cambia la luz a la guía de ondas MMI y lejos de ésta, siempre es necesario, sin embargo, asegurarse de que la luz no se acople con modos verticales de orden superior en cualquier fase.

Una ventaja de la invención es también que con ésta, componentes en base a guías de ondas en banda, tales como curvas de guía de ondas de pequeño tamaño, espejos de guía de ondas y acopladores MMI cortos, pueden insertarse de forma adiabática entre guías de ondas de tipo cresta de modo único. Dichas conexiones de guía de ondas
30 pueden funcionar en modo único externamente.

Una ventaja de la invención es también que la distribución de campo asimétrica verticalmente de una guía de ondas de tipo cresta puede cambiarse a una distribución de campo simétrica verticalmente de una guía de ondas en banda. La simetría vertical puede utilizarse, entre otras cosas, para reducir la atenuación de acopladores MMI y/o para reducir su tamaño. Como se ha afirmado anteriormente, una guía de ondas en banda es más adecuada para proporcionar acopladores MMI cortos que una guía de ondas de tipo cresta. Si una guía de ondas de tipo cresta está conectada directamente a la guía de ondas MMI en banda, la asimetría vertical de la guía de ondas de tipo cresta y la simetría vertical de la guía de ondas en banda causa entre ellas un acoplamiento perjudicial de luz a modos verticales de orden superior. Usando la guía de ondas de conversión entre la guía de ondas de tipo cresta y la guía de ondas MMI en banda, pequeños acopladores MMI pueden conectarse a las guías de ondas de tipo cresta sin el
40 problema de acoplamiento mencionado anteriormente.

El procedimiento de la invención se refiere a la fabricación de un circuito óptico integrado que comprende una guía de ondas de tipo cresta y una guía de ondas en banda y una guía de ondas de conversión fabricada entre ellas, estando las guías de ondas fabricadas sobre un sustrato plano que tiene una capa central que propaga la luz. Según la invención, la capa central está adelgazada de forma controlable en dos fases para formar dos escalones diferentes a ambos lados de la guía de ondas de conversión, de modo que se utilizan diferentes patrones de proceso en
45 ambas fases de adelgazamiento, cuyos bordes determinan la ubicación de los bordes de los escalones de la guía de ondas sobre el sustrato, de modo que el resultado obtenido es una estructura de guía de ondas, que tiene dos escalones a ambos lados, transversales a la dirección de propagación de la luz, en la que la guía de ondas de conversión está provista de dos capas de diferentes anchuras de modo que la altura de la primera capa se dispone para ser igual a la altura de la cresta de la guía de ondas de tipo cresta, y la altura de la segunda capa se dispone para ser igual a la altura de la parte de base de la guía de ondas de tipo cresta, y en la que la suma de las alturas de las capas se dispone para ser igual a la altura de la guía de ondas en banda, y las anchuras de las dos capas se disponen para cambiar de forma uniforme entre las guías de ondas para estar conectadas para encajarlas juntas en dirección lateral. La guía de ondas de tipo cresta y la guía de ondas rectangular se determinan ambas con ayuda de
50 solamente un patrón de proceso. Sin embargo, la guía de ondas de conversión se determina con ayuda de la combinación de dos patrones de proceso diferentes.

Una ventaja del procedimiento de la invención es que, con él, la guía de ondas de tipo cresta puede cambiarse de forma adiabática a la guía de ondas en banda de manera fiable y fácil y con pequeñas pérdidas de potencia.

Una ventaja del procedimiento de la invención también es que éste no es especialmente sensible a errores de alineamiento que se producen entre diferentes patrones de proceso.

La invención y sus otras ventajas se explican a continuación con más detalle, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que

5 La Figura 1 es una sección transversal de una primera guía de ondas según el estado de la técnica, es decir una guía de ondas en banda;

La Figura 2 es una sección transversal de una segunda guía de ondas según el estado de la técnica, es decir una guía de ondas de tipo cresta;

La Figura 3 es una sección transversal del sustrato;

10 La Figura 4 es un diagrama de bloques del procedimiento para fabricar la guía de ondas en fases;

Las Figuras 5A y 5B ilustran la fabricación de la guía de ondas y presentan dos fases de preparación diferentes;

La Figura 6 es una vista en perspectiva de la guía de ondas, con cuya ayuda la guía de ondas de tipo cresta puede convertirse en la guía de ondas en banda, o viceversa; y

15 Las Figuras 7A, 7B, 7C son secciones transversales A-A, B-B y C-C de la guía de ondas de la Figura 6, respectivamente.

La invención se refiere a un circuito óptico integrado. Una guía de ondas en el circuito tiene un elemento central que propaga la luz en cierta dirección, la dirección de propagación. La guía de ondas, especialmente su elemento central con dos escalones, está dispuesta sobre un sustrato plano 7, Figura 3. El índice de refracción de la capa o material por debajo del elemento central en la longitud de onda en cuestión es más pequeño que el índice de refracción correspondiente del elemento central. Por ejemplo, un procedimiento fotolitográfico, Figura 4, se usa en la fabricación de la invención, siendo el procedimiento explicado con más detalle más adelante en esta solicitud.

20 En una realización ventajosa de la invención, el sustrato común es, de la forma más preferente, un sustrato hecho de semiconductor, tal como una oblea semiconductor que se usa generalmente también como soporte para circuitos integrados electrónicos. El sustrato funciona como base física, sobre la cual puede disponerse una serie de circuitos ópticos integrados.

25 El sustrato 7 del circuito óptico integrado, Figura 3, es preferentemente una oblea SOI (silicio sobre aislante). La oblea SOI está constituida por una gruesa oblea de silicio 7a, sobre la cual hay en primer lugar una fina capa de óxido de silicio 7b, y en la parte superior de ésta una fina capa central 7c de silicio. La capa de óxido 7b actúa como una llamada capa amortiguadora, que aísla ópticamente a la capa central 7c de la oblea de silicio bajo ella, debido a su índice de refracción, que es menor que el del silicio. El grosor de la capa de óxido 7b es típicamente de 0,5 - 3 μm , pero también puede ser de hasta 1 - 15 μm . El índice de refracción de silicio es de aproximadamente $n = 3,5$ y, respectivamente, el índice de refracción de silicio es de aproximadamente $n_s = 1,5$, dependiendo de la longitud de onda de la luz. La longitud de onda λ de la luz usada es de aproximadamente 1-2 μm , preferentemente, por ejemplo, 1,55 μm . La Figura 3 presenta una oblea SOI, pero como alternativa, también pueden usarse varias estructuras diferentes de única o de múltiples capas como sustrato. En lugar de silicio, por ejemplo, arseniuro de galio (GaAs) u otro material respectivo puede usarse, como alternativa, como material para la capa central.

30 En el procedimiento de la invención, la guía de ondas 60, Figura 6, se fabrica sobre un sustrato acabado adecuado 7, Figura 3, tal como una oblea SOI, sobre la cual ya hay una capa central que propaga la luz 7c. En el procedimiento de la invención, la guía de ondas 60, especialmente su elemento central 600, está hecho de modo que la capa central 7c sobre el sustrato está adelgazada de forma controlable en dos fases diferentes para formar los diferentes escalones 6; 6^{1a} 6^{2a} 6^{1b} 6^{2b} y las capas 60^1 , 60^2 , utilizándose un patrón de proceso diferente en ambas fases de adelgazamiento, las dimensiones de cuya área, es decir anchura y longitud, corresponden a las dimensiones del área de las diferentes capas de la guía de ondas, de este modo el resultado obtenido es una estructura de guía de ondas con dos escalones en ambos bordes, transversales a la dirección de propagación de la luz. De este modo, los bordes de los diferentes patrones de proceso determinan la ubicación de los bordes de los escalones de la guía de ondas en la capa central 7c sobre el sustrato. Al mismo tiempo, también se preparan otras posibles guías de onda integradas relacionadas con la guía de ondas 60.

35 La guía de ondas 60 se ilustra como una vista en perspectiva en la Figura 6, y sus secciones transversales se ilustran en las Figuras 7A, 7B y 7C. La guía de ondas 60 es una guía de ondas de conversión, que se dispone entre la guía de ondas de tipo cresta 61 y la guía de ondas en banda 62, que se conocen como tales.

En la guía de ondas 60, hay dos capas de material sucesivas y sin fisuras 60^1 , 60^2 hechas del mismo material, que forman el elemento central 600. Las capas 60^1 , 60^2 de la guía de ondas 60 tienen diferentes anchuras 1_{60a} , 1_{60b} de

modo que las etapas 6; 6^{1a}, 6^{2a}; 6^{1b}, 6^{2b} están formadas en los bordes 60a, 60b de la guía de ondas 60. La guía de ondas 60 también puede estar rodeada por un revestimiento (no se muestra en las Figuras). Este revestimiento puede estar hecho de un material sólido adecuado, que se añade sobre la guía de ondas 60 en conexión con la fabricación, o puede ser un revestimiento gaseoso, guía de ondas 60 en conexión con la fabricación, o puede ser un revestimiento gaseoso tal como aire circundante, o incluso un revestimiento líquido. El revestimiento también puede estar constituido por más de una capa o material.

La guía de ondas 60 se realiza sobre el sustrato plano 7, como se ha mostrado anteriormente. El modelado de dos escalones de la capa central requerido en la realización puede realizarse, por ejemplo, usando el procedimiento de fabricación fotolitográfica que se describe a continuación, presentado como un diagrama de bloques en la Figura 4. Algunas fases de fabricación se han ilustrado en las Figuras 5A y 5B. Sin embargo, debe observarse que la guía de ondas 60 también puede realizarse mediante otros procedimientos alternativos.

Dado que la guía de ondas 60 se fabrica usando el procedimiento de fabricación fotolitográfica, el sustrato 7 se toma en primer lugar, en la capa central 7c sobre la cual se pretende disponer la guía de ondas (fase 40). El sustrato es una oblea procesada previamente, por ejemplo, una oblea SOI (véase la Figura 3). En la primera fase de fabricación 41, una capa de máscara dura 9; 9¹, tal como una capa de dióxido de silicio, se añade a la superficie de la oblea. En la segunda fase 42, una capa protectora, es decir una capa protectora sensible a la luz 10; 10¹ (véase la Figura 5A) se añade sobre la capa de máscara dura 9; 9¹. Después de esto, en la fase 43, la oblea procesada previamente con la primera máscara de proceso, es decir en este caso la máscara de exposición 11; 11¹ se encaja con un dispositivo de exposición, en el que el sustrato 7 y el patrón de proceso 11 están situados paralelos y a una pequeña distancia uno del otro, y están expuestos (véase la Figura 5B). En este caso, se deja que la luz 12, especialmente luz UV, afecte a las capas de superficie del sustrato y especialmente la capa protectora sensible a la luz 10; 10¹ a través de las aberturas 11a¹, 11b¹ de la máscara de exposición 11; 11¹. De este modo, una imagen de la máscara de exposición, especialmente sus bordes, se dispone en la superficie de la oblea. En la siguiente cuarta fase 44, la oblea expuesta se desarrolla de modo que las partes expuestas de la película sensible a la luz se separan. Después de esto, la oblea se graba en la quinta fase 45 de modo que las áreas que quedaron no expuestas en el desarrollo, primero la capa de máscara dura y a continuación los primeros surcos 13, 14 pueden grabarse a la profundidad deseada h₁. Los grabados de la máscara dura y la capa central son generalmente fases del proceso diferentes, aunque se han mostrado en este documento como una fase en aras de la sencillez. Después del grabado, la primera nervadura 15 queda entre los surcos 13, 14, siendo la altura de la nervadura h₁ y la anchura l₁. En la sexta fase 46 la capa protectora 10; 10¹ se retira. En la séptima fase 47, la capa de máscara dura 9; 9¹ se retira de las áreas no grabadas. De este modo, se ha realizado el primer ciclo de procesamiento q = 1, y es posible pasar al segundo ciclo de procesamiento q = q + 1.

El segundo ciclo de procesamiento comienza principalmente de la misma manera que el primer ciclo de procesamiento: una nueva capa de máscara dura se añade en primer lugar sobre el sustrato ya procesado una vez, y la capa protectora sensible a la luz también se añade sobre la capa de máscara dura, es decir la primera y segunda fase 41, 42 se realizan de nuevo. Después de esto, se pasa a la tercera fase 43, y se realiza la exposición con la segunda máscara de proceso, es decir en este caso, la máscara de exposición. Se deja de nuevo que la luz influya sobre las capas de superficie del sustrato a través de las aberturas de la segunda máscara de exposición. En la cuarta y en la quinta fase 44, 45, el sustrato se desarrolla y se graba de nuevo, como resultado de lo cual en este ejemplo de aplicación, todas las áreas expuestas durante este segundo ciclo de procesamiento se graban hasta el borde inferior de la capa central. La capa protectora se retira a continuación en la sexta fase 46 y la capa de máscara dura en la séptima fase 47. De este modo, también se ha realizado el segundo ciclo de procesamiento q = 2, y la capa central de la guía de ondas 60 se graba para formar una capa con dos escalones.

En el proceso de fabricación fotolitográfica descrito anteriormente, se presenta una capa de máscara dura diferente para añadirla al comienzo de ambos ciclos de procesamiento y, respectivamente, para retirarla al final del mismo ciclo de procesamiento. Sin embargo, esto no siempre es necesario, sino que la misma capa de máscara dura puede usarse en ambos ciclos de procesamiento. En este caso, la profundización de todos los surcos ya realizados continúa durante el último ciclo de procesamiento, y además se inicia el grabado de nuevos surcos.

Las profundidades de grabado y las anchuras de las nervaduras restringidas por los surcos grabados están típicamente entre 0,5 - 15 μm con un sustrato que es una oblea SOI.

En la fabricación de la invención descrita anteriormente, cada capa de material y el escalón respectivo de la guía de ondas se realizaron de forma sucesiva, comenzando desde la capa más superior y el escalón respectivo 6^{1a}, 6^{1b}. Sin embargo, el orden de los ciclos de procesamiento y, al mismo tiempo, el orden de uso de los patrones de proceso pueden cambiarse. Debe observarse especialmente que algunas áreas pueden sobregrabarse de modo que la suma de las profundidades de grabado en éstas es mayor que el grosor original de la capa central. En este caso, la posible continuación del grabado en las capas por debajo de la capa central depende de los materiales de las capas en cuestión y del procedimiento de grabado usado.

La estructura de la guía de ondas 60 se explica a continuación con más detalle en referencia a las Figuras 6, 7A, 7B y 7C.

La altura de la capa más superior de la guía de ondas 60, es decir la primera capa 60^1 y al mismo tiempo la elevación h_{60a} del escalón más superior es igual a la altura h_h de la cresta 61^1 de la guía de ondas de tipo cresta 61. El primer extremo de la guía de ondas 60 está conectado a la guía de ondas de tipo cresta 61 y el segundo extremo a la guía de ondas en banda 62. En el punto de conexión 601 de la guía de ondas 60 y la guía de ondas de tipo cresta 61, la anchura $l_{60s} = l_{601a}$ de la primera capa 60^1 de la guía de ondas 60 es igual a la anchura l_h de la cresta 61^1 de la guía de ondas de tipo cresta. En el punto de conexión 602 de la guía de ondas 60 y la guía de ondas en banda 62, la anchura $l_{60a} = l_{602a}$ de la primera capa 60^1 de la guía de ondas 60 es igual a la anchura l_s de la guía de ondas en banda 62. En los puntos de conexión 601, 602 de las guías de ondas no hay área de conexión de material o similar, sino que los elementos centrales constituidos por las capas de diferentes guías de ondas son del mismo material, y están conectados entre sí directamente y sin fisuras.

En el ejemplo de aplicación de la Figura 6, la anchura l_h de la cresta 61^1 de la guía de ondas de tipo cresta 61 es menor que la anchura l_s de la guía de onda en banda 62. Como alternativa, dependiendo de la aplicación, la anchura l_h de la cresta 61^1 es igual o mayor que la anchura l_s de la guía de onda en banda 62. La anchura l_{60a} de la primera capa de la guía de ondas 60 se dispone de este modo para cambiar de la primera anchura l_{601a} , que es igual a la anchura l_h de la cresta 61^1 de la guía de ondas de tipo cresta en el primer punto de conexión 601, a la segunda anchura l_{602a} , que es igual a la anchura l_s de la guía de onda en banda 62 en el segundo punto de conexión 602.

La altura h_{60b} de la segunda capa 60^2 de la guía de ondas 60 y, al mismo tiempo, la elevación del segundo escalón es igual a la altura h_k de la parte de base 61^2 de la guía de ondas de tipo cresta 61. En el punto de conexión 601 de la guía de ondas 60 y la guía de ondas de tipo cresta 62, la anchura $l_{60b} = l_{601b}$ de la segunda capa 60^2 de la guía de ondas es igual a la anchura finita l_{61k} de la parte de base 61^2 de la guía de ondas de tipo cresta. En el punto de conexión 602 de la guía de ondas 60 y la guía de onda en banda 61, la anchura $l_{60b} = l_{602b}$ de la segunda capa 60^2 de la guía de ondas 60 es igual a la anchura l_s de la guía de ondas en banda 62. La anchura l_{61k} de la parte de base 61^2 de la guía de ondas de tipo cresta 61 es, en principio, infinita, pero en la práctica, la segunda guía de ondas 60 y su segunda capa 60^2 están conectadas a la parte de base 61^2 en el punto de conexión 601 en alguna anchura finita adecuada, que es tan grande que no tiene influencia significativa alguna sobre la actividad de la guía de ondas. Preferentemente la anchura l_{61k} es la anchura l_h de la cresta 61^1 multiplicada por una cifra constante, que se calcula numéricamente.

La altura h_{60a} de la primera capa 60^1 de la guía de ondas 60 de la invención es, de este modo, igual a la altura h_h de la cresta 61^1 de la guía de ondas de tipo cresta, dado que de nuevo la altura h_{60b} de la segunda capa 60^2 es igual a la altura h_k de la parte de base 61^2 de la guía de ondas de tipo cresta. La altura h_s de la guía de onda en banda 62 es, de nuevo, la suma de las alturas h_{60a} y h_{60b} de las capas 60^1 , 60^2 de la segunda guía de ondas 60, es decir $h_s = h_{60a} + h_{60b} = h_h + h_k$.

Las alturas h_{60a} , h_{60b} de las capas 60^1 , 60^2 de la guía de ondas 60 según la invención y de este modo, las elevaciones de los escalones dependen de las dimensiones de altura h_h , h_k de la cresta 61^1 y la parte de base 61^2 de la guía de ondas de tipo cresta 61 y, respectivamente, de la altura h_s de la guía de onda en banda 62. Como es evidente a partir de lo anterior, la primera capa 60^1 de la guía de ondas 60, es decir, la distancia del par de escalones internos se dispone para estrecharse (o para ensancharse, respectivamente) en la dirección de desplazamiento de la luz de la forma más preferente uniforme y lineal desde una anchura l_h hasta la segunda anchura l_s (o viceversa, visto en la dirección opuesta de propagación de la luz).

El propósito de la guía de ondas 60 es conectar dos guías de onda 61, 62 de formas diferentes y al menos parcialmente con dimensiones diferentes, entre sí. Al aplicar la guía de ondas 60, esto se consigue de forma adiabática de manera deseada con las menores pérdidas de propagación de luz posibles. En el ejemplo de realización mostrado, la guía de ondas 60 y las guías de ondas 61, 62 conectadas por ésta son simétricas con respecto a su plano medio vertical.

La fabricación de la guía de ondas 60 y la guía de ondas de tipo cresta 61 y la guía de onda en banda 62 conectadas a ésta se realiza utilizando dos, la primera y segunda máscaras de exposición 66, 67 o un patrón de proceso correspondiente en dos fases de procesamiento sucesivas. En la Figura 5, las máscaras de exposición 66, 67 se ilustran a una distancia por encima del sustrato 7 y la segunda guía de ondas 60 dispuesta sobre él. La siguiente descripción más detallada de las máscaras de exposición 66, 67 se basa en el supuesto del uso del modelado fotolitográfico descrito anteriormente. Sin embargo, también puede aplicarse la misma máscara o máscaras similares junto con otros procedimientos de modelado.

La anchura l_{66a} del primer extremo 66a de la primera máscara 66 corresponde a la anchura l_h de la cresta 61^1 de la guía de ondas de tipo cresta 61. A partir del punto de máscara 601a correspondiente al primer punto de conexión 601, la primera máscara 66 se ensancha hacia el segundo extremo 66b, y su anchura l_{66} es igual a la anchura l_{60a} de la primera capa 60^1 de la guía de ondas 60 que conecta a la guía de ondas de tipo cresta 61 y la guía de ondas en banda 62 hasta el punto de máscara 602a correspondiente al segundo punto de conexión 602, a partir del cual hacia delante ésta en esta realización se ensancha más de una manera similar a cómo entre los puntos de máscara 601a, 602a. En la dirección mostrada después del segundo punto de máscara 602a, es decir, en la dirección de la guía de onda en banda 62, la anchura l_{66b} de la primera máscara 66 es mayor que la anchura l_s de la guía de onda en banda

62 a procesar, y su tamaño no es significativo como tal; la guía de onda en banda 62 está restringida a su anchura final I_s con ayuda de la segunda máscara de exposición 67, como es evidente a partir de la siguiente explicación.

5 La anchura I_{67b} del segundo extremo 67b de la segunda máscara de exposición 67 corresponde a la anchura I_s de la guía de onda en banda 62. La segunda máscara 67 se ensancha desde el punto de máscara 602b correspondiente al segundo punto de conexión 602 hacia el primer extremo 67a, y su anchura I_{67} es igual a la anchura I_{60b} de la segunda capa 60² de la guía de ondas 60 que conecta la guía de ondas de tipo cresta 61 y la guía de onda en banda 62 hasta el punto de máscara 601b correspondiente al primer punto de conexión 601, a partir del cual hacia delante ésta en esta realización se ensancha más de manera similar a cómo entre los puntos de máscara 601b, 602b. En la dirección mostrada después del primer punto de máscara 601b, es decir, en la dirección de la guía de ondas de tipo cresta 61, la anchura I_{67a} de la segunda máscara 67 es tan superior a la anchura de la guía de ondas de tipo cresta 61 que su tamaño no tiene ninguna influencia significativa sobre la actividad de la guía de ondas. De este modo, puede decirse que, en el punto de conexión 601, la anchura I_{67a} de la segunda máscara 67 corresponde a la anchura finita de la parte de base 61² de la guía de ondas de tipo cresta 61.

15 Dado que la anchura I_{67} de la segunda máscara 67 en el primer punto de conexión 601 no tiene ninguna influencia significativa sobre la actividad de la guía de ondas, la ubicación del primer punto de conexión 601 se determina solamente en base al punto de máscara 601a de la primera máscara 66 correspondiente a ésta. La anchura I_{66b} de la primera máscara 66 a partir del segundo punto de conexión 602 hacia la guía de onda en banda 62 de nuevo no tiene influencia sobre el funcionamiento de la guía de ondas, siempre que sea mayor que la anchura I_{67b} de la segunda máscara 67 en el lugar respectivo. La ubicación del segundo punto de conexión 602 se determina únicamente en base a los puntos de intersección de los bordes de las máscaras 66, 67. En la Figura 6, el punto de conexión 602 se dibuja para volverse congruente con el punto de máscara 602b por motivos de sencillez, pero no se requiere que éste sea necesariamente el caso. Por ejemplo, la segunda máscara 67 puede continuar estrechándose durante un corto intervalo hacia delante a partir del punto de máscara 602b hacia la guía de onda en banda 62, de modo que también la guía de onda en banda conectada a la guía de ondas 60 se estreche respectivamente.

25 Dada la precisión de alineamiento de máscara finita, las máscaras 66, 67 o los patrones de proceso respectivos pueden moverse ligeramente unos con respecto a otros mientras la guía de ondas se está fabricando. Sin embargo, el funcionamiento de la guía de ondas 60 no cambia significativamente debido a pequeños errores de alineamiento, dado que, en base a lo que se ha dicho anteriormente, no es necesario alinear puntos de máscara algunos entre sí de manera absolutamente precisa. Como máximo, los errores de alineamiento mueven ligeramente los puntos de conexión 601 y 602 en la dirección longitudinal de la guía de ondas y hacen a la guía de ondas 60 ligeramente asimétrica con respecto a su eje central longitudinal. Al usar patrones de máscara que se ensanchan y estrechan de forma suficientemente plana, la guía de ondas 60 sigue siendo lo suficientemente adiabática también en este caso.

35 Las primera y segunda máscaras de exposición 66, 67 se usan en la fabricación de la guía de ondas 60 y las guías de onda relacionadas 61, 62. En la fabricación, en la etapa de grabado del primer ciclo de procesamiento después del uso de la primera máscara 66 el grabado se realiza hasta la primera profundidad $h_1 = h_h = h_{60a}$ de modo que la primera capa 60¹ de la guía de ondas 60 y la cresta 61¹ de la primera guía de ondas de tipo cresta 61 puedan separarse de la capa central 7c sobre el sustrato 7. Las áreas 64a, 64b retiradas en la primera etapa de grabado están marcadas con líneas discontinuas en las Figuras 7A, 7B y 7C. En la etapa de grabado del segundo ciclo de procesamiento después del uso de la segunda máscara 67, la capa central se graba de modo que, en los bordes de la guía de onda en banda, el grabado se extiende a través de toda la capa central (hasta la profundidad h_s), y al mismo tiempo, la segunda capa 60² de la tercera guía de onda 60 se sobregraba a través del grosor restante h_{60b} de la capa central. La segunda profundidad de grabado h_2 de la segunda fase de grabado es diferente en diferentes áreas, debido al sobregrabado. Las áreas 65a, 65b retiradas en la segunda etapa de grabado están marcadas con líneas discontinuas en las Figuras 7B y 7C.

45 La guía de ondas 60 también puede realizarse usando un primer procedimiento de fabricación modificado preferible, comparado con el procedimiento anterior. En este caso, las máscaras de exposición 66 y 67 se usan en orden inverso con respecto al procedimiento anterior y además, se usa una capa de máscara dura común junto con ellas. De este modo, la retirada de la máscara dura y la adición de una nueva máscara dura se producen entre los ciclos de procesamiento. En la etapa de grabado del primer ciclo de procesamiento después del uso de la máscara 67, la capa central se graba hasta la profundidad h_{60b} , y en la etapa de grabado del segundo ciclo de procesamiento después del uso de la máscara 66, la capa central se graba a la profundidad h_{60a} . La última etapa de grabado continúa el grabado de todas las áreas grabadas en el primer ciclo de procesamiento (los bordes de la guía de onda en banda y los bordes de la segunda capa de la guía de ondas 60) hasta el borde inferior de la capa central y, simultáneamente, graba las áreas 64a y 64b que rodean a la guía de ondas de tipo cresta y las áreas entre los escalones adyacentes 6; 6^{1a}, 6^{2a} y 6; 6^{1a}, 6^{2a} a la profundidad $h_h = h_{60a}$. Con este procedimiento, el resultado final obtenido será la misma estructura que con el procedimiento anterior, pero de esta manera cada fase de grabado graba a la misma profundidad en todas las áreas, y de este modo se evita dicha fase de sobregrabado, en la que el grabado en algunas áreas tiende a sobrepasar el borde inferior de la capa central.

Con respecto a lo que se ha explicado anteriormente, la guía de ondas 60 también puede realizarse con ayuda de

un segundo y tercer procedimiento de fabricación modificado preferible. En el segundo procedimiento de fabricación modificado, la anchura l_{60b} de la segunda capa de la guía de ondas 60 y la anchura l_{67} de la segunda máscara 67 correspondiente a ésta se disponen como una constante, que es mayor que la anchura l_h de la cresta de la guía de ondas de tipo cresta 61, que es igual a la anchura l_s de la guía de onda en banda 62. En este caso, la anchura l_{60a} de la primera capa de la guía de ondas 60 y la anchura l_{66} de la primera máscara 66 correspondiente a ésta se disponen para ensancharse a partir de la anchura del primer punto de máscara 601, es decir, la anchura l_h de la cresta de la guía de ondas de tipo cresta 61 hacia la guía de onda en banda. En un tercer procedimiento de fabricación modificado, la anchura l_{60a} de la primera capa de la guía de ondas 60 y la anchura l_{66} de la primera máscara 66 correspondiente a ésta se disponen como una constante, que es igual a la anchura l_g de la guía de onda en banda 62 en el segundo punto de conexión 602. En este caso, la anchura l_{60b} de la segunda capa de la guía de ondas 60 y la anchura l_{67} de la segunda máscara 67 correspondiente a ésta se disponen para ensancharse a partir de la anchura del primer punto de máscara 601, es decir, la anchura finita l_{61k} de la parte de base 61² de la guía de ondas de tipo cresta 61 hacia la guía de onda en banda y sobrepasa ligeramente el segundo punto de máscara 602 de modo que no pueden establecerse requisitos muy altos para el alineamiento de máscara. En el segundo y tercer procedimiento de fabricación modificado, las otras dimensiones de la guía de ondas 60 se mantienen iguales y/o se disponen para cambiar, como se ha explicado anteriormente en relación con las Figuras 6, 7A, 7B y 7C.

Una ventaja considerable del circuito óptico integrado, especialmente la guía de ondas 60 y su proceso de fabricación es que no se necesita una precisión de alineamiento especialmente grande entre los dos patrones de proceso usados, como se ha demostrado anteriormente. Solamente un patrón de proceso, o una máscara correspondiente, determina las dimensiones (es decir, especialmente la anchura y la longitud, pero, en principio, también la altura) de la guía de ondas 61, 62 que se conectará a la guía de ondas 60. Dada la propiedad adiabática de la guía de ondas 60 y los pequeños ángulos de cruce de los bordes de los patrones de proceso, los pequeños errores de alineamiento no influyen en gran medida en la transferencia de luz entre las guías de ondas ópticas 61, 62 a conectar.

La invención no está limitada en alcance a solamente los ejemplos de realización presentados anteriormente, sino que muchas variaciones son posibles dentro de la idea de la invención determinada por las reivindicaciones.

Publicaciones de referencia:

/1/ Hiroshi Nishihara, Masamitsu Haruna y Toshiaki Suhara: "Optical integrated circuits", McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-046092-2, 1989

/2/ Denis Donlagic y Brian Culshaw: "Propagation of the fundamental mode in curved graded index multimode fiber and its application in sensor systems", Journal of Lightwave Technology, vol 18, págs. 334-342, 2000.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Circuito óptico integrado que comprende una guía de ondas de tipo cresta (61) que tiene una parte de base (61²) y una cresta (61¹) y una guía de ondas en banda y una guía de ondas de conversión entre ellas, estando las guías de ondas dispuestas sobre una superficie plana y teniendo una sección central que propaga la luz en cierta dirección de propagación, **caracterizado porque** la sección central de la guía de ondas de conversión está hecha de uno y mismo material y la sección transversal de la sección central transversal a la dirección de propagación (z) de la luz tiene dos escalones (6; 6^{1a}, 6^{2a}; 6^{1b}, 6^{2b}) en ambos lados (60a, 60b), y en cuya guía de ondas de conversión hay dos capas (60¹, 60²) de diferentes anchuras (l_{60a}, l_{60b}), siendo la altura (h_{60a}) de la primera capa (60¹) igual a la altura de la cresta (61¹) de la guía de ondas de tipo cresta (61), y siendo la altura (h_{60b}) de la segunda capa (60²) igual a la altura de la parte de base (61²) de la guía de ondas de tipo cresta (61), y en la que la suma de las alturas (h_{60a}, h_{60b}) de las capas (60¹, 60²) es igual a la altura de la guía de onda en banda (62), estando la anchuras de las dos capas (601, 602) dispuestas para cambiar de forma uniforme entre las guías de ondas que se conectarán para encajarlas juntas lateralmente.
- 15 2. Circuito óptico integrado según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la guía de ondas (60) está hecha de material semiconductor, especialmente silicio.
3. Circuito óptico integrado según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la guía de ondas (60) está realizada sobre un sustrato SOI.
- 20 4. Circuito óptico integrado según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las anchuras (l_{60a}, l_{60b}) de las capas (60¹, 60²) de la guía de ondas (60) se disponen para cambiar linealmente entre la cresta de la guía de ondas de tipo cresta (61) y la sección central rectangular de la guía de onda en banda (62) de diferentes anchuras para conectarlas juntas con ayuda de la guía de ondas (60).
- 25 5. Procedimiento de fabricación de un circuito óptico integrado que comprende una guía de ondas de tipo cresta y una guía de ondas en banda y una guía de ondas de conversión fabricada entre ellas, estando las guías de ondas fabricadas sobre un sustrato plano (7), que tiene una capa central que propaga la luz (7c), **caracterizado porque** la capa central (7c) se adelgaza de forma controlable en dos fases para formas dos escalones diferentes a ambos lados de la guía de ondas de conversión, de modo que se utilizan diferentes patrones de proceso en ambas fases de adelgazamiento, cuyos bordes determinan la ubicación de los bordes de los escalones de la guía de ondas sobre el sustrato, de modo que el resultado obtenido es una estructura de guía de ondas, que tiene dos escalones (6; 6^{1a}, 6^{2a}; 6^{1b}, 6^{2b}) en ambos lados (60a, 60b) transversales a la dirección de propagación de la luz, en la cual la guía de ondas de conversión (60) está provista de dos capas (60¹, 60²) de diferentes anchuras (l_{60a}, l_{60b}) de modo que la altura (h_{60a}) de la primera capa (60¹) se dispone para ser igual que la altura de la cresta (61¹) de la guía de ondas de tipo cresta (61), y la altura (h_{60b}) de la segunda capa (60²) se dispone para ser igual a la altura de la parte de base (61²) de la guía de ondas de tipo cresta (61), y en la que la suma de las alturas (h_{60a}, h_{60b}) de las capas (60¹, 60²) se dispone para ser igual a la altura de la guía de onda en banda (62), y las anchuras de las dos capas (601, 602) se disponen para cambiar de manera uniforme entre las guías de ondas (61, 62) a conectar para encajarlas juntas en la dirección lateral.
- 35 6. Procedimiento de fabricación de un circuito óptico integrado según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la guía de ondas (5) se fabrica sobre un sustrato acabado adecuado (7), tal como una oblea SOI o similar.
- 40 7. Procedimiento de fabricación de un circuito óptico integrado según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado porque** se usa en él una capa de máscara dura común (9; 9¹) para proporcionar al menos dos patrones de proceso diferentes a la capa central (7c) del sustrato.

TÉCNICA ANTERIOR

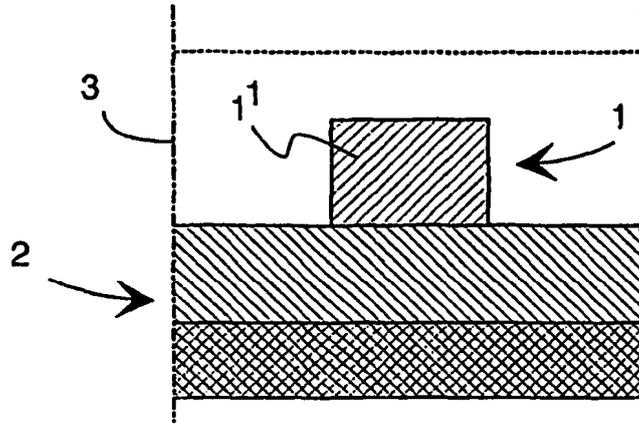


FIG. 1

TÉCNICA ANTERIOR

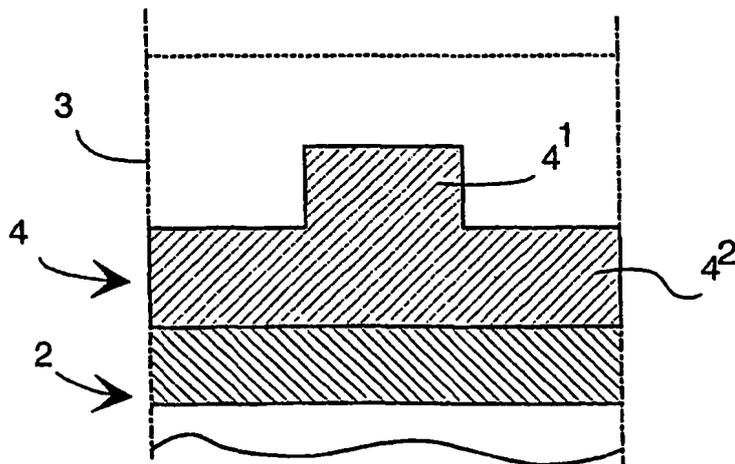


FIG. 2

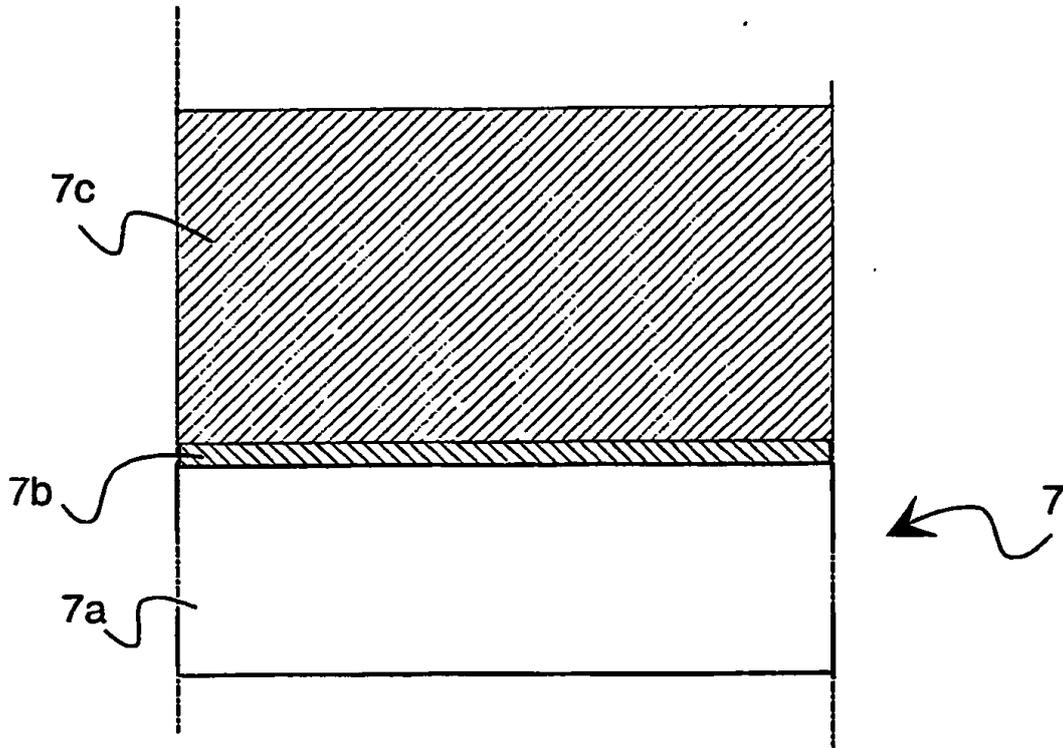


FIG. 3

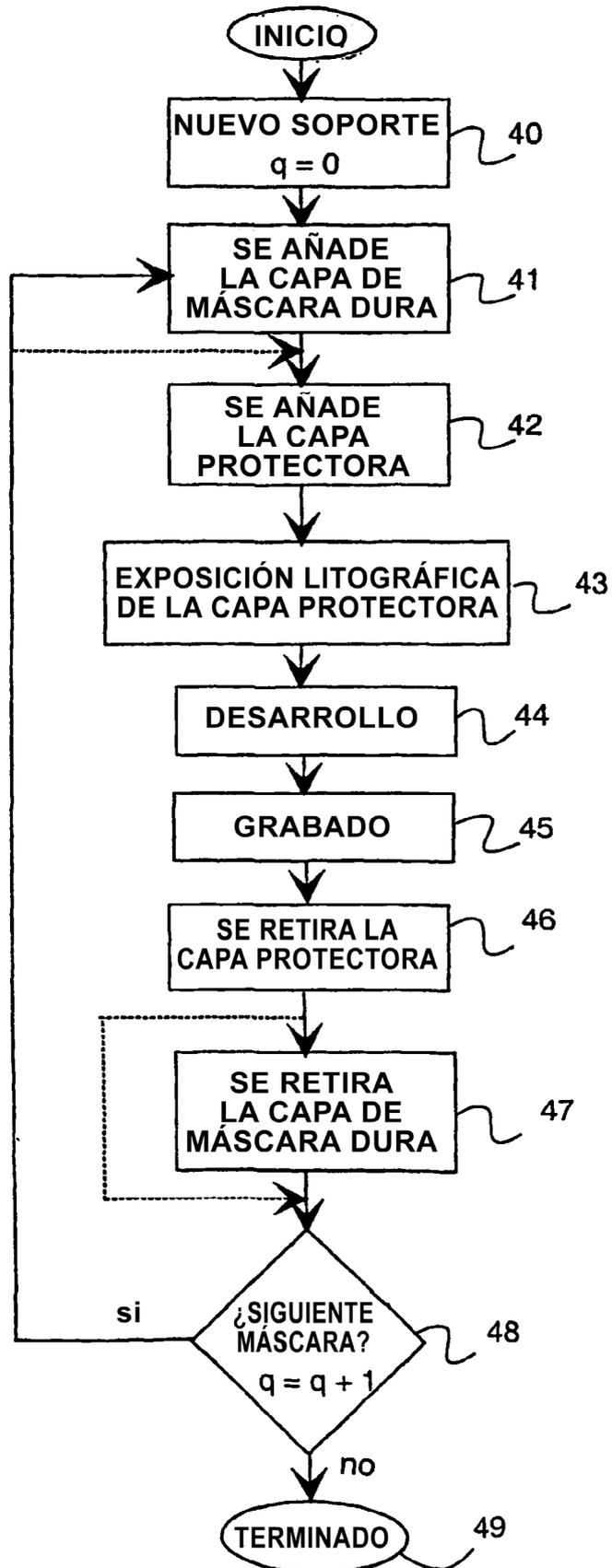


FIG. 4

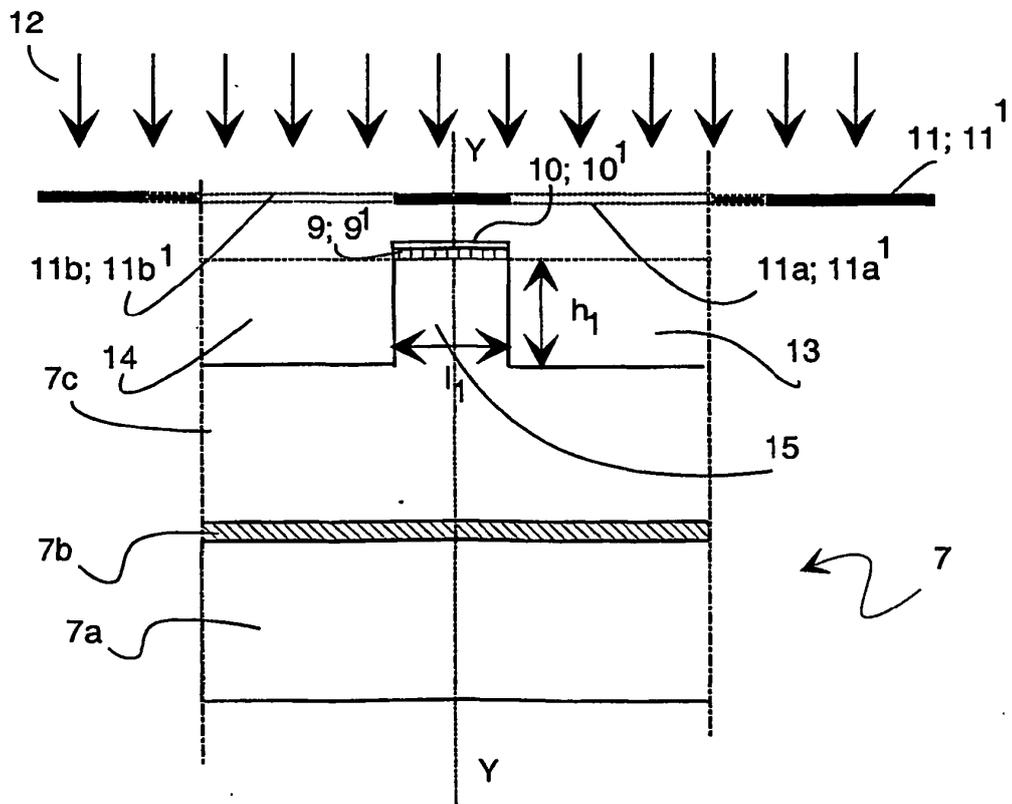
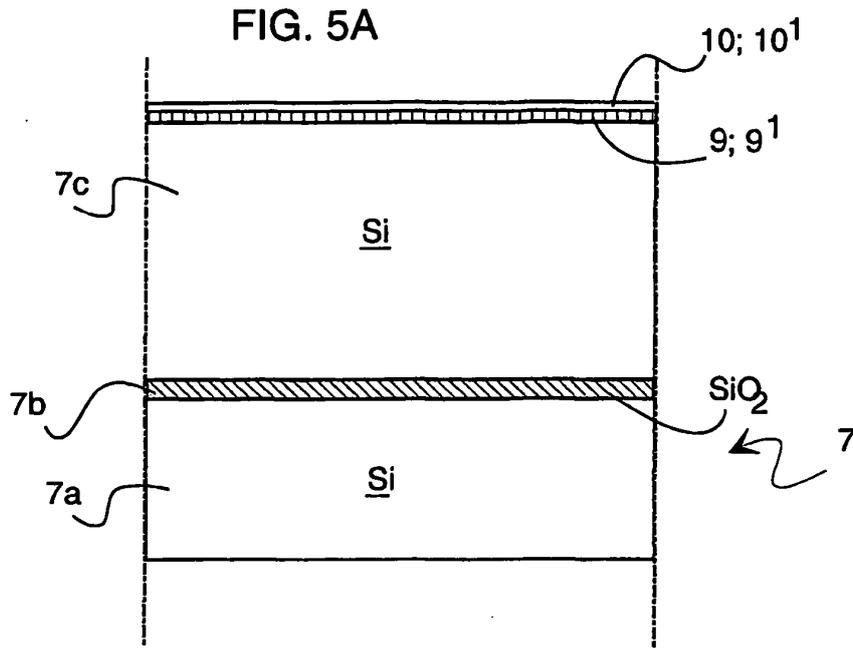


FIG. 5B

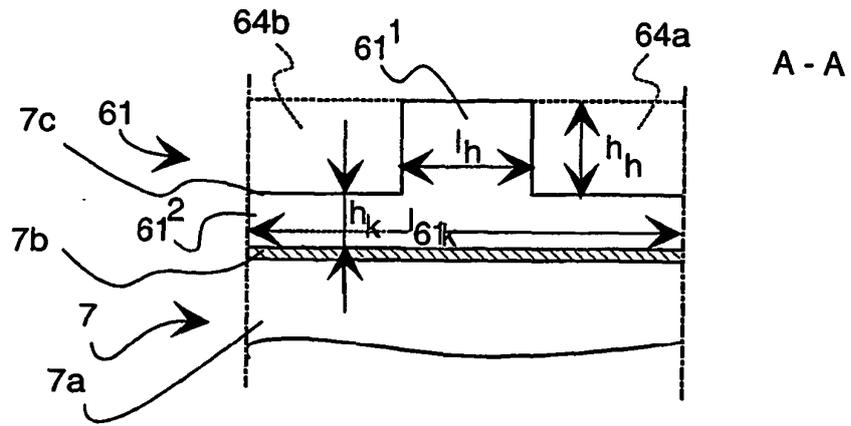


FIG. 7A

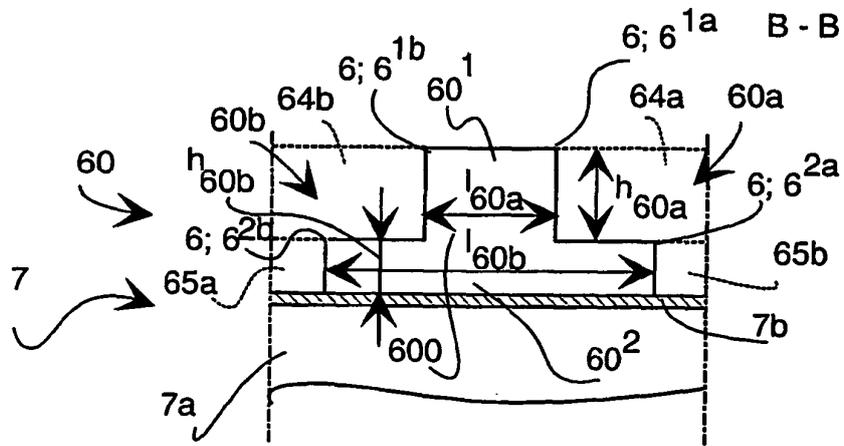


FIG. 7B

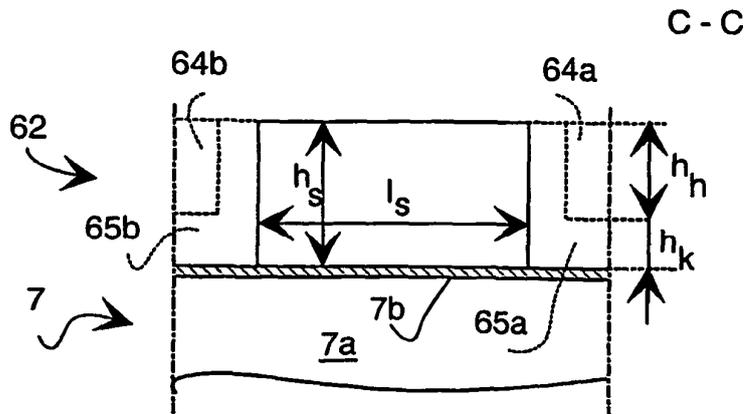


FIG. 7C