

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 772**

51 Int. Cl.:

F21V 8/00 (2006.01)

G02B 6/122 (2006.01)

G02B 6/125 (2006.01)

G06F 3/042 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2020 E 20425020 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024 EP 3926233**

54 Título: **Dispositivo óptico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.01.2025

73 Titular/es:

VITREALAB GMBH (50.00%)
Tech Park Vienna, Gutheil-Schoder-Gasse 17
1230 Wien, AT y
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
(50.00%)

72 Inventor/es:

ZEUNER, JONAS;
GREGANTI, CHIARA;
PELLEGATTA, FRANCESCO;
PITSIOS, IOANNIS y
OSELLAME, ROBERTO

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 994 772 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

Dispositivo óptico

5 La presente divulgación se refiere a un dispositivo óptico que comprende: una guía de ondas de salida en abanico primaria; al menos una guía de ondas de salida en abanico secundaria; un acoplador óptico de salida en abanico para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas de salida en abanico primaria y la guía de ondas de salida en abanico secundaria; y al menos una guía de ondas de bus asociada con la guía de ondas de salida en abanico secundaria y diferente de cada guía de ondas de salida en abanico secundaria.

10 Existen algunos dispositivos conocidos en el estado de la técnica que distribuyen la luz uniformemente sobre un área determinada o que reciben la luz de distintos canales distribuidos sobre un área determinada. Para determinadas aplicaciones, como las unidades de retroiluminación para LCD, estos dispositivos deben ser compactos, en particular delgados (ortogonalmente a la zona determinada) y con un bisel mínimo alrededor de la zona determinada (activa).

15 El artículo "Collimated light from a waveguide for a display backlight" de Travis et al en Opt. Express 17, 19714-19719 (2009), muestra una aproximación clásica a una unidad de retroiluminación de este tipo. En él, la luz emitida desde una fuente puntual se despliega en abanico en una placa guía de ondas. La luz se refleja en una faceta lateral de la placa, llena esencialmente toda el área y posteriormente tiene que ser emitida por una cara superior de la placa. Sin embargo, se sabe que estos dispositivos carecen de uniformidad, eficacia y compacidad.

20 Un enfoque para aplicaciones de detección se muestra en "Ion-exchanged glass waveguide sensors" por Ross en Glass Integrated Optics and Optical Fiber Devices: A Critical Review, 102750C (25 de julio de 1994). Este artículo muestra un conjunto de sensores con cuatro interferómetros Mach-Zehnder paralelos. Para ello, la luz se transmite a través de una fibra monomodo, que se acopla a un chip óptico integrado y se divide en cuatro canales de guía de ondas que guían a cuatro elementos sensores. El desdoblamiento en cuatro canales de guía de ondas se consigue mediante un primer divisor y dos divisores posteriores. Posteriormente, todos los haces se emiten desde un lado del chip óptico integrado opuesto al lado donde se acoplan en el chip. Sin embargo, un ensanchamiento de este tipo requiere una gran superficie y, si la zona a cubrir fuera, por ejemplo, rectangular, esta zona activa sólo podría proporcionarse una vez que el ensanchamiento se hubiera completado en toda su anchura y número de canales.

25 Las principales limitaciones de un abanico de este tipo son la longitud del mecanismo de acoplamiento/división y las pérdidas por flexión en función del radio de curvatura de la guía de ondas. Las guías de ondas que se separan entre sí tienen que doblarse para alcanzar la distancia requerida, por ejemplo, un píxel en una aplicación de visualización.

30 En el documento WO 2007/046100 A2 se muestra un enfoque alternativo. En ella, una guía de ondas que sale de un diodo láser se acopla a las guías de ondas siguientes, que se curvan 90° hacia las filas respectivas de píxeles. Aunque esto puede limitar la longitud de salida en abanico al radio de curvatura de las guías de ondas, sigue requiriendo que el bisel alrededor de dos lados del área activa sea del orden del radio de curvatura, lo que es demasiado grande para algunas aplicaciones.

35 Además, sería posible utilizar guías de ondas dobladas dos veces en 90°, como se muestra en "Optical Retroreflective Marker Fabricated on Silicon-On-Insulator" por Van Acoleyen et al en IEEE Photonics Journal (Volumen: 3, Edición: 5, oct. 2011), páginas 789-798. Sin embargo, éstas no permiten un pequeño bisel en todos los lados de una zona activa y tales guías de ondas dobladas introducen elevadas pérdidas ópticas.

Otros dispositivos ópticos se muestran en los documentos WO 2016/039166 A1, US 2008/107380 A1, US 6 266 426 B1 y EP 3 599 541 A1.

40 Es un objetivo de la presente invención prevenir o aliviar al menos una de las desventajas del estado de la técnica. En particular, debe conseguirse de forma compacta un despliegue o despliegue en abanico de las guías de ondas hacia/desde una determinada zona activa y debe reducirse el bisel alrededor de dicha zona activa. Opcionalmente, también se reducirán las pérdidas ópticas resultantes del ensanchamiento o ensanchamiento de las guías de ondas.

45 Esto se consigue mediante un dispositivo óptico como el mencionado al principio, que comprende una estructura reflectante y de acoplamiento que conecta la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, en la que la estructura reflectante y de acoplamiento es una estructura interferométrica para acoplar un haz de luz que viaja en la guía de ondas de salida en abanico secundaria a la guía de ondas de bus o acoplar un haz de luz que viaja en la guía de ondas de bus a la guía de ondas de salida en abanico secundaria, en la que la estructura reflectante y de acoplamiento comprende una cara reflectante de bus para reflejar, al menos parcialmente, un haz de luz en la guía de ondas de bus y una cara reflectante de salida en abanico secundaria para reflejar, al menos parcialmente, un haz de luz en la guía de ondas de salida en abanico secundaria.

55 Mediante el uso de una estructura reflectante y de acoplamiento que conecta la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, un haz de luz puede abrirse en abanico o abrirse en abanico de una manera compacta, ya que no hay necesidad de un bisel alrededor de una cierta área activa (a cubrir) del tamaño del radio de curvatura de las guías de ondas de salida en abanico, que está limitado por las pérdidas de curvatura. En particular, la luz se puede distribuir en abanico desde la guía de ondas primaria en abanico hacia la guía de ondas secundaria

- 5 en abanico y, debido al uso de la estructura reflectante y de acoplamiento, la guía de ondas de bus puede guiar la luz hacia una sección que no puede ser cubierta por la guía de ondas secundaria en abanico. Esta sección podría estar, por ejemplo, cerca del acoplador óptico de salida en abanico o junto a la guía de ondas de salida en abanico primaria anterior al acoplador óptico de salida en abanico. De este modo, la guía de ondas de salida en abanico primaria y el acoplador óptico de salida en abanico pueden estar parcial o totalmente contenidos dentro de la zona activa que se iluminará y no es necesario un bisel alrededor de dicha zona. Además, al utilizar guías de ondas distintas para la salida o la entrada del haz de luz, se consigue una mayor uniformidad y menores pérdidas.
- 10 Salida en abanico se refiere a la distribución de luz desde una guía de ondas (o un número de guías de ondas) a otras guías de ondas (o un número adicional de guías de ondas, donde el número es preferiblemente mayor que el número inicial). Opcionalmente, las guías de ondas pueden ser guías de ondas ópticas monomodo. Opcionalmente, las guías de ondas pueden tener un contraste de índices bajo ($n_2 - n_1 \ll 1$). La luz puede, aunque no es necesario, acoplarse desde la guía de ondas del bus a varios píxeles. El objetivo principal del dispositivo óptico es cubrir un área determinada con una guía de ondas de bus (o más guías de ondas de bus), desde la que la luz podría acoplarse a una serie de píxeles. Este acoplamiento posterior podría lograrse mediante el presente dispositivo óptico o de cualquier otra forma, por ejemplo mediante otro dispositivo que no forme parte de la presente divulgación.
- 15 La descripción en el contexto de salida en abanico se refiere análogamente en modo de funcionamiento invertido a una entrada en abanico, que puede por ejemplo utilizarse en aplicaciones de detección, por ejemplo dispositivos de reconocimiento táctil. La guía de ondas primaria de salida en abanico, la guía de ondas secundaria de salida en abanico y el acoplador de salida en abanico son igualmente una guía de ondas primaria de entrada en abanico, una guía de ondas secundaria de entrada en abanico y un acoplador de entrada en abanico, si el dispositivo óptico se utiliza para entrada en abanico.
- 20 Por estructura reflectante y de acoplamiento se entiende una estructura que acopla la luz entre las dos guías de ondas (por ejemplo, mediante un acoplador direccional) y en la que un haz de luz se refleja al menos en un punto, de manera que se invierte una dirección de propagación del haz de luz a lo largo de al menos una de las guías de ondas.
- 25 Opcionalmente, la estructura reflectante y de acoplamiento acopla un haz de luz de
- (en particular, en el caso de la salida en abanico:) la guía de ondas de salida en abanico secundaria a la guía de ondas de bus de forma que el haz de luz se desplace en la guía de ondas de bus al menos en dirección inversa a la dirección en la que se desplazaba en la guía de ondas de salida en abanico secundaria antes del acoplamiento o
 - 30 • (en particular en el caso de entrada en abanico:) la guía de ondas de bus a la guía de ondas de salida en abanico secundaria de tal manera que el haz de luz se desplace en la guía de ondas de salida en abanico secundaria al menos en una dirección inversa a la dirección en la que se desplazaba en la guía de ondas de bus antes del acoplamiento. La dirección inversa se refiere en particular a las secciones de la guía de ondas secundaria de salida en abanico y la guía de ondas de bus, en las que las dos guías de ondas se extienden sustancialmente una al lado de la otra.
- 35 Opcionalmente, la guía de ondas de salida en abanico secundaria y/o la guía de ondas de bus comprenden un núcleo rodeado por un material de revestimiento, y puede proporcionarse al menos una cara, que comprende un contraste de índices que es mayor que el contraste de índices entre el núcleo y el material de revestimiento. De este modo, se puede conseguir una reflexión suficiente aunque el ángulo de incidencia de un haz de luz en la cara no sea mayor que el ángulo de reflexión crítico para el límite entre el núcleo y el material de revestimiento. Opcionalmente, se guía un haz de luz en una primera sección de (al menos) una de las guías de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria al menos en una dirección y se guía un haz de luz en una segunda sección de una de las guías de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria al menos en la dirección opuesta.
- 40 Opcionalmente, la guía de ondas de salida en abanico primaria, la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus son distintas entre sí. Opcionalmente, la guía de ondas de salida en abanico primaria es diferente de la guía de ondas de salida en abanico secundaria y/o de la guía de ondas de bus. Opcionalmente, al menos una sección de la guía de ondas de bus es paralela a una sección de la guía de ondas de salida en abanico secundaria. Opcionalmente, el acoplador óptico en abanico comprende una sección en la que la guía de ondas primaria en abanico y la guía de ondas secundaria en abanico se acercan entre sí y opcionalmente se extienden una cerca de la otra sobre una sección de acoplamiento de cada guía de ondas. Opcionalmente, la sección de acoplamiento de la guía de ondas primaria en abanico y de la guía de ondas secundaria en abanico tiene una longitud inferior a 500 pm, opcionalmente inferior a 100 pm, opcionalmente inferior a 20 μm . La guía de ondas primaria en abanico y la guía de ondas secundaria en abanico se extienden en la sección de acoplamiento en una distancia de acoplamiento entre sí, que es opcionalmente inferior a 200 pm, opcionalmente inferior a 60 pm, opcionalmente inferior a 20 μm .
- 45 Opcionalmente, la distancia de acoplamiento es de al menos 1 μm .
- 50 El dispositivo óptico comprende opcionalmente al menos 10, más opcionalmente al menos 100, más opcionalmente al menos 1.000, más opcionalmente al menos 10.000, guías de ondas de salida en abanico secundarias, en las que se proporciona para un acoplador de salida en abanico cada una para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas de salida en abanico primaria y la respectiva guía de ondas de salida en abanico secundaria o para acoplar un haz de luz entre dos guías de ondas de salida en abanico secundarias; al menos una guía de ondas de salida en abanico
- 55
- 60

asociada a cada una de las guías de ondas de salida en abanico secundarias y distinta de cada guía de ondas de salida en abanico secundaria; y una estructura reflectante y de acoplamiento que conecta cada guía de ondas de salida en abanico secundaria y la respectiva guía de ondas de salida en abanico.

5 La estructura reflectante y de acoplamiento es una estructura interferométrica para acoplar un haz de luz que se desplaza por la guía de ondas de salida en abanico secundaria a la guía de ondas de bus o para acoplar un haz de luz que se desplaza por la guía de ondas de bus a la guía de ondas de salida en abanico secundaria, opcionalmente de forma que al menos una fracción del haz de luz acoplado se desplaza en la dirección opuesta después de abandonar la estructura interferométrica. La estructura interferométrica se refiere a que la luz se acopla desde una de las guías de ondas de salida en abanico secundarias y la guía de ondas de bus a la otra de las guías de ondas de salida en abanico secundarias y la guía de ondas de bus de tal manera que interfiere con la luz que viaja por la otra de las guías de ondas de salida en abanico secundarias y la guía de ondas de bus y que previamente se reflejó en la otra de las guías de ondas de salida en abanico secundarias y la guía de ondas de bus. Por desplazamiento en direcciones opuestas se entiende que, cuando el haz de luz llega a la estructura interferométrica en una de las guías de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria, abandona la estructura interferométrica en la otra de las guías de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria en una dirección que tiene un ángulo de más de 90° con respecto a la dirección inicial. De este modo, la inversión de dirección se consigue de forma eficaz y compacta y sin los inconvenientes de utilizar para ello una guía de ondas doblada. La estructura interferométrica comprende opcionalmente un divisor de haz, que puede ser un acoplador óptico para acoplar la luz entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, y/o un combinador de haz, que puede ser un acoplador óptico para acoplar la luz entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, en el que, en particular, el divisor de haz y el combinador de haz están formados por el mismo acoplador óptico. La estructura interferométrica puede ser una estructura interferométrica de Michelson (es decir, los haces son divididos y combinados por el mismo elemento). Opcionalmente, la estructura interferométrica es una estructura interferométrica de Michelson equilibrada y/o una estructura interferométrica de Mach-Zehnder plegada. Opcionalmente, la estructura interferométrica es pasiva, es decir, las longitudes de los caminos ópticos en la estructura interferométrica son fijas. Opcionalmente, la estructura interferométrica comprende al menos cuatro brazos, en los que dos brazos están formados por cada una de las guías de ondas secundarias en abanico y la guía de ondas de bus. Un brazo de cada una de las guías de ondas secundarias de salida en abanico y de la guía de ondas de bus es el brazo de entrada y de salida. El otro brazo de cada una de las guías de ondas secundarias de salida en abanico y de la guía de ondas de bus puede hacerse arbitrariamente corto. Opcionalmente, las longitudes del camino óptico se fijan de tal manera que para un haz de luz que entra en la estructura interferométrica por un brazo de entrada y salida, la mayor parte (es decir, más del 50 % de intensidad) de ese haz de luz abandona la estructura interferométrica por el otro brazo de entrada y salida.

35 Son posibles muchas disposiciones diferentes para la estructura reflectante y de acoplamiento. Por ejemplo, cada brazo de la estructura reflectante y de acoplamiento o de la estructura interferométrica puede conducir de nuevo a una estructura reflectante y de acoplamiento o a una estructura interferométrica, es decir, por ejemplo, dividirse de nuevo en un interferómetro (con o sin uso). Así, la complejidad puede aumentar mucho.

40 Opcionalmente, al menos una sección de la guía de ondas de bus se extiende a lo largo de al menos una sección de la guía de ondas de salida en abanico secundaria, en particular sustancialmente paralela a una sección de la guía de ondas de salida en abanico secundaria.

45 Opcionalmente, la estructura reflectante y de acoplamiento comprende un acoplador óptico (denominado "acoplador óptico de bus") para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, en el que opcionalmente se acopla sustancialmente el 50% del haz de luz entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus al pasar por el acoplador óptico en una dirección. Opcionalmente, el acoplador óptico de bus comprende una sección en la que la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus se acercan entre sí y opcionalmente se extienden próximas entre sí sobre una sección de acoplamiento de cada guía de ondas. Opcionalmente, la sección de acoplamiento de la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus tiene una longitud inferior a 500 pm, opcionalmente inferior a 100 pm, opcionalmente inferior a 20 µm. La guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus se extienden en la sección de acoplamiento a una distancia de acoplamiento entre sí, que es opcionalmente inferior a 200 pm, opcionalmente inferior a 60 pm, opcionalmente inferior a 20 µm. La guía de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria se extienden cada una desde el acoplador óptico de bus en al menos una dirección. Opcionalmente, cada uno de ellos se extiende en dos direcciones desde el acoplador óptico.

55 La estructura reflectante y de acoplamiento comprende una cara reflectante de bus para reflejar al menos parcialmente un haz de luz en la guía de ondas de bus y una cara reflectante de salida en abanico secundaria para reflejar al menos parcialmente un haz de luz en la guía de ondas de salida en abanico secundaria. De este modo, la luz acoplada en la estructura reflectante y de acoplamiento entre la guía de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria puede reflejarse en cada una de las guías de ondas, de modo que puede acoplarse de nuevo entre las guías de ondas en la dirección opuesta, dando lugar así, en particular, a efectos de interferencia. Opcionalmente, las trayectorias ópticas entre el acoplador óptico del bus y la cara reflectante del bus y entre el acoplador óptico del bus y la cara reflectante secundaria en abanico están configuradas de tal manera que, después de pasar por el acoplador óptico del bus una vez en la dirección de avance y una vez en la dirección de retroceso, el haz de luz se desplaza

5 sustancialmente por una de las guías de ondas del bus y por la guía de ondas secundaria en abanico, por donde no se desplazaba inicialmente (antes del acoplador óptico del bus). El camino óptico y, por lo tanto, la guía de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria pueden hacerse arbitrariamente cortos entre el acoplador óptico y la cara reflectante de bus y, respectivamente, la cara reflectante de salida en abanico secundaria. La cara reflectante del bus y/o la cara reflectante de la salida en abanico secundaria pueden seguir directamente al acoplador óptico del bus, es decir, no es necesario separar la guía de ondas del bus y la guía de ondas de la salida en abanico secundaria antes de que se produzca la reflexión. De este modo se consigue una estructura reflectante y de acoplamiento con una longitud inferior a 100 μm . También es posible tener múltiples capas que incluyan más de un reflejo en diferentes facetas para distribuir la luz y, opcionalmente, para controlar o analizar la luz a lo largo del camino. 10 Esto puede aumentar ligeramente el grosor del dispositivo óptico, aunque sin necesidad de un bisel alrededor de la zona activa. Por ejemplo, además de las dos capas formadas por la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, es posible tener al menos una capa adicional. Es decir, puede haber otra estructura reflectante y de acoplamiento que conecte la guía de ondas de bus a otra guía de ondas de bus. Esta estructura adicional de reflexión y acoplamiento puede estar formada, por ejemplo, por una interfaz (por ejemplo, del sustrato mencionado más abajo), que también comprende una cara de entrada, en la que la luz puede acoplarse a la guía de ondas primaria en abanico (por ejemplo, desde una fuente de luz). Esta interfaz puede incluir un revestimiento reflectante. A continuación, la luz puede ser guiada desde la estructura reflectante y de acoplamiento adicional por la guía de ondas de bus adicional en una dirección sustancialmente idéntica a la de la guía de ondas de salida en abanico primaria. Opcionalmente, en un extremo de esta guía de ondas de bus adicional, que puede estar en la misma cara que la cara reflectante del bus y/o la cara reflectante en abanico, puede situarse un detector, en particular un fotodiodo, para medir la potencia luminosa. En este caso, si la cara reflectante del bus y/o la cara reflectante de la salida en abanico están provistas de un revestimiento reflectante, este revestimiento no se proporciona opcionalmente en el extremo de la guía de ondas del bus adicional. Otra opción es reflejar a partir de caras consecutivas y, por tanto, a 90° entre sí.

25 Opcionalmente, la longitud del camino óptico entre el acoplador óptico de la estructura reflectante y de acoplamiento y la cara reflectante en la guía de ondas de bus es la misma que la longitud del camino óptico entre el acoplador óptico de la estructura reflectante y de acoplamiento y la cara reflectante en la guía de ondas de salida en abanico secundaria. En general, si el dispositivo óptico se utiliza con una fuente de luz, las longitudes del camino óptico módulo a una longitud de onda de la fuente de luz son las mismas. De este modo, se puede conseguir una interferencia destructiva en la guía de ondas por la que el haz de luz ha viajado inicialmente (es decir, por la que el haz de luz llega a la estructura reflectante y de acoplamiento) y una interferencia constructiva en la otra guía de ondas. En consecuencia, un haz de luz que penetre en la estructura reflectante y de acoplamiento por una guía de ondas saldrá de la estructura reflectante y de acoplamiento por la otra guía de ondas, y en particular hacia atrás (es decir, en sentido inverso). Por supuesto, esto también puede lograrse mediante otras estructuras, en particular las interferométricas.

35 Opcionalmente, la guía de ondas secundaria en abanico y la guía de ondas de bus se proporcionan en un sustrato (en particular transparente), y opcionalmente se producen mediante escritura directa por láser de femtosegundos. De este modo se consigue un diseño especialmente compacto. Mediante la escritura directa con láser de femtosegundos de las guías de ondas, éstas pueden crearse a profundidades arbitrarias dentro del sustrato y pueden doblarse en cualquier dirección. Gracias a esta posibilidad de trayectorias de guía de ondas en 3D, se puede conseguir un diseño más compacto (es decir, una alta densidad de guías de ondas por volumen) y, además, guías de ondas con bajas pérdidas ópticas. Opcionalmente, el sustrato se extiende en tres dimensiones, en las que la extensión del sustrato ("profundidad") en una dimensión es al menos 5 veces, opcionalmente al menos 10 veces, menor que la extensión del sustrato en las otras dos dimensiones ("longitud" y "anchura"). La dimensión podría ser de 25 por 25 por 0,5 mm^3 . Opcionalmente, una sección de la superficie del sustrato es un área activa, que debe ser iluminada o desde donde se recogerá la luz. Opcionalmente, el área activa se encuentra en una de las superficies del sustrato que delimitan el sustrato en la dirección de la profundidad. Opcionalmente, la guía de ondas primaria en abanico y/o cualquier otra guía de ondas del dispositivo óptico también se proporcionan en el sustrato transparente. Opcionalmente, el sustrato transparente comprende vidrio de aluminio-borosilicato, por ejemplo Corning (R) Eagle XG (R). Opcionalmente, la guía de ondas del bus es sustancialmente paralela al área activa. Opcionalmente, la guía de ondas de bus es sustancialmente paralela a la salida en abanico secundaria y está separada de la guía de ondas de salida en abanico secundaria tanto en la dimensión de anchura como de profundidad en la mayor parte de su longitud, aparte de cerca de la estructura reflectante y de acoplamiento. En la estructura reflectante y de acoplamiento, la guía de ondas de bus y la guía de ondas de salida en abanico secundaria pueden situarse al mismo nivel de profundidad, aunque pueden permanecer separadas en la dimensión de anchura. Para el acoplamiento entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus, pueden aproximarse en la dimensión de anchura para lograr un acoplamiento.

55 La escritura directa por láser de femtosegundos (FDLW, a menudo también llamada inscripción directa por láser de femtosegundos) comprende opcionalmente una o más de las siguientes etapas:

- proporcionar un sustrato que comprenda un material dieléctrico transparente y/o que comprenda vidrio, cerámica, polímero y/o material cristalino;
- utilizar absorción multifotónica (es decir, de más de 2 fotones) de fotones con energías inferiores a la banda prohibida del material del sustrato y/o en los que los impulsos sean impulsos de femtosegundos a frecuencias bajas a medias, por ejemplo entre 20 kHz y 10 MHz, opcionalmente entre 80 kHz y 5 MHz, en particular entre 100 kHz y 2 MHz, y aún más particularmente entre 500 kHz y 1,5 MHz, y/o en los que los impulsos tienen una

anchura media, por ejemplo entre 40 fs y 2 ps, opcionalmente entre 100 fs y 1 ps, en particular entre 200 fs y 400 fs.

Otra técnica de escritura láser es la escritura láser 2PP (polimerización de 2 fotones), que puede comprender litografía de dos fotones o litografía multifotónica. A diferencia de la escritura directa por láser de femtosegundos, puede contener una o más de las siguientes etapas o propiedades:

- 5 • utilizan pulsos de femtosegundos a frecuencias típicamente altas, por ejemplo 80 MHz y con una anchura de pulso baja < 100 fs;
- la absorción de dos fotones es un proceso de tercer orden con respecto a la susceptibilidad de tercer orden y un proceso de segundo orden con respecto a la intensidad luminosa;
- 10 • prevén una resistencia especial (un material fotosensible) que es altamente transparente a los fotones de longitud de onda λ pero altamente absorbente para los fotones de longitud de onda $\lambda/2$.

Opcionalmente, la cara reflectante del bus y/o la cara reflectante secundaria en abanico se proporcionan mediante una faceta del sustrato transparente y/o un revestimiento (reflectante) de una faceta del sustrato transparente. El revestimiento puede comprender, por ejemplo, plata, aluminio, oro y/o un revestimiento dieléctrico.

- 15 Opcionalmente, el dispositivo óptico comprende al menos una guía de ondas de píxeles (o guía de ondas específica de píxeles), que recibe un haz de luz de la al menos una guía de ondas de bus o dirige un haz de luz a la al menos una guía de ondas de bus, en la que opcionalmente la guía de ondas de píxeles se dobla alejándose de la guía de ondas de bus. Opcionalmente, se proporciona más de una guía de ondas de píxeles asociada (como se ha descrito anteriormente) con la guía de ondas de bus, además, opcionalmente, se proporcionan al menos 10 guías de ondas de píxeles asociadas con la guía de ondas de bus. Opcionalmente, la guía de ondas de al menos un píxel está formada en el sustrato. Opcionalmente, la guía de ondas de al menos un píxel se curva desde la guía de ondas de bus hacia una superficie del sustrato, en particular el área activa. Puede proporcionarse un acoplador óptico de píxeles para acoplar la luz entre la guía de ondas de bus y la guía de ondas de píxeles. Preferiblemente, cada guía de ondas de píxeles está asociada a un píxel o subpíxel de color del área activa (o de una capa de cristal líquido que cubre el área activa, con capas o películas opcionales entre el área activa y la capa de cristal líquido). Específicamente, puede haber una relación de uno a uno entre cada guía de ondas de píxeles y un píxel del área activa.
- 20
- 25

Es posible acoplar luz ya fuera de la guía de ondas secundaria en abanico. Opcionalmente, se proporciona al menos una guía de ondas de píxeles adicional, que recibe un haz de luz de la guía de ondas de salida en abanico secundaria o dirige un haz de luz a la guía de ondas de salida en abanico secundaria, donde opcionalmente la guía de ondas de píxeles adicional se dobla alejándose de la guía de ondas de salida en abanico secundaria. De este modo, se puede reducir la longitud media del camino óptico en las guías de ondas y, por tanto, las pérdidas de transmisión.

30

Opcionalmente, el dispositivo óptico comprende un elemento de ajuste de fase para ajustar la longitud del camino óptico relativo de la guía de ondas de salida en abanico secundaria y de la guía de ondas de bus en la estructura reflectante y de acoplamiento, en la que el elemento de ajuste de fase comprende además opcionalmente un desplazador de fase y/o un espejo piezoeléctrico. De este modo, se puede ajustar la intensidad de los haces de luz en la guía de ondas del bus y, posteriormente, en una determinada sección de la zona activa. Esto es especialmente útil para implementar la atenuación local en pantallas o en aplicaciones de detección, por ejemplo cuando se utiliza el dispositivo óptico en sistemas de detección y alcance de luz (LIDAR) o de reconocimiento táctil óptico.

35

Opcionalmente, el dispositivo óptico comprende al menos una guía de ondas de bus adicional asociada con la guía de ondas de salida en abanico secundaria y diferente de cada guía de ondas de salida en abanico secundaria, en la que la estructura reflectante y de acoplamiento también conecta la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de bus adicional. Así, cada guía de ondas secundaria en abanico puede utilizarse para acoplar un haz de luz a más de una guía de ondas de bus. Es decir, un mayor número de guías de ondas de bus no sólo se puede lograr proporcionando más guías de ondas de salida en abanico secundarias como se mencionó anteriormente, sino también conectando más guías de ondas de bus con cada guía de ondas de salida en abanico secundaria. Así se consigue un diseño compacto.

40

45

Opcionalmente, estas dos medidas se combinan. La estructura reflectante y de acoplamiento puede comprender un tritter para acoplar una luz entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria, y la guía de ondas de bus y la guía de ondas de bus adicional. Así se consigue un diseño especialmente compacto. Además, el acoplador óptico en abanico puede ser un tritter, de forma que un haz de luz puede acoplarse desde la guía de ondas primaria en abanico a más de una guía de ondas secundaria en abanico en un punto (o, más exactamente, en una longitud de interacción).

50

Un tritter es en particular un dispositivo de división de potencia que comprende una guía de ondas de entrada y tres guías de ondas de salida. Su función es dividir la potencia óptica (luz) de una o varias guías de ondas de entrada (puerto de entrada) a tres guías de ondas de salida (puertos de salida). La funcionalidad también puede invertirse. Sus propiedades físicas y principios de funcionamiento son similares a los de un acoplador direccional normal. El tritter permite repartir la potencia óptica a otras guías de ondas en menos espacio físico, lo que se traduce en una reducción del número de etapas y de guías de ondas. Opcionalmente, el triturador divide la potencia sustancialmente por igual en cada puerto de salida, es decir, sustancialmente un 33% en cada uno. Opcionalmente, se utiliza una cascada de

55

tritters, en la que la guía de ondas de salida en abanico primaria está acoplada a más de una guía de ondas de salida en abanico secundaria mediante un tritter, y estas guías de ondas de salida en abanico secundarias están conectadas cada una a más de una guía de ondas de salida en abanico secundaria adicional mediante un tritter. Los experimentos han demostrado que se puede conseguir un tritter con relaciones de división que varían en menos del 5%, en el que la distancia de interacción de las longitudes de onda en el tritter era de 5 μm y la longitud de interacción era de 140 μm . Típicamente, la distancia de interacción podría ser del tamaño del núcleo de la guía de ondas (por ejemplo, al menos 1 μm) a 30 μm y/o la longitud de interacción inferior a 300 μm . Se han fabricado cascadas de estructura de cuatro tritters, lo que conduce a un desdoblamiento de 1x81 salidas. Por lo tanto, se podría cubrir un área activa con un paso de píxel de salida de 50 μm y tamaños totales de anchura y longitud de salida de 4,05 mm y 21,31 mm, respectivamente.

Opcionalmente, el dispositivo óptico comprende:

una guía de ondas primaria adicional;
 al menos una guía de ondas secundaria adicional en abanico;
 un acoplador óptico en abanico adicional para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas en abanico primaria adicional y la guía de ondas en abanico secundaria adicional. Así, la luz podría acoplarse desde una fuente de luz diferente o podría acoplarse a un dispositivo sensor diferente. Las características opcionales mencionadas anteriormente en el contexto de la guía de ondas de salida en abanico primaria, la guía de ondas de salida en abanico secundaria (adicional) y el acoplador de salida en abanico también pueden implementarse para la guía de ondas de salida en abanico primaria adicional, la guía de ondas de salida en abanico secundaria adicional (adicional) y el acoplador de salida en abanico adicional. De este modo, se puede conseguir un salida en abanico o entrada en abanico para múltiples longitudes de onda/colores apilando la guía de ondas de salida en abanico secundaria y la guía de ondas de salida en abanico secundaria adicional una encima de la otra y luego intercalándolas en el punto donde tienen que alcanzar su respectiva guía de ondas de bus (suponiendo que las guías de ondas de bus están dispuestas a la misma profundidad por debajo del área activa). De este modo, cada estructura reflectante y de acoplamiento por color permanece independiente una de otra y, por tanto, funciona en una única longitud de onda, con lo que se consiguen bajas pérdidas ópticas.

Opcionalmente, la guía de ondas primaria en abanico está acoplada a una fuente de luz para recibir un haz de luz de la fuente de luz. La fuente de luz puede ser un láser, en particular un diodo láser monomodo. Opcionalmente, la fuente de luz está configurada para emitir luz con una longitud de onda central de entre 300 nm y 700 nm, y además opcionalmente hasta 2000 nm (en particular para la detección). Se puede prever más de una fuente de luz, en la que cada fuente de luz se acopla a una guía de ondas de salida en abanico primaria diferente (adicional). Opcionalmente, la fuente de luz (o una de las fuentes de luz, respectivamente) está configurada para emitir luz con una longitud de onda central de 460 nm, 530 nm o 630 nm. De este modo, más de una fuente de luz puede emitir luz en el mismo rango, en particular, si las fuentes de luz iluminan diferentes regiones del área activa. Opcionalmente, si más de una fuente de luz ilumina la misma región (en particular los mismos píxeles pero subpíxeles de diferente color) del área activa, emiten luz de diferentes longitudes de onda centrales.

Además, la presente divulgación se refiere a una unidad de retroiluminación para una pantalla, que comprende un dispositivo óptico según cualquiera de las realizaciones aquí descritas. De este modo, se consigue una pantalla compacta, especialmente plana. La unidad de retroiluminación puede utilizarse en una pantalla LCD.

A modo de ejemplo, la divulgación se explica con más detalle con respecto a algunas realizaciones seleccionadas que se muestran en los dibujos. Sin embargo, estas realizaciones no se considerarán limitativas de la divulgación.

La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista superior de un dispositivo óptico del estado de la técnica.

La Fig. 2 muestra esquemáticamente una vista superior de otro dispositivo óptico del estado de la técnica.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente una vista superior de una realización de un dispositivo óptico según la presente divulgación.

La Fig. 4 muestra esquemáticamente una vista lateral de la misma realización del dispositivo óptico que la Fig. 3.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente una vista superior de otra realización de un dispositivo óptico según la presente divulgación.

La Fig. 6 muestra esquemáticamente una vista lateral de la misma realización del dispositivo óptico que la Fig. 5.

La Fig. 7 muestra esquemáticamente una vista superior de otra realización de un dispositivo óptico según la presente divulgación.

La Fig. 8 muestra esquemáticamente una vista lateral de la misma realización del dispositivo óptico que la Fig. 7.

La Fig. 9 ilustra esquemáticamente un modelo de estimación de las pérdidas ópticas debidas al número de guías de ondas de los píxeles.

La Fig. 10 ilustra esquemáticamente las consideraciones relativas a la estructura reflectante y de acoplamiento.

La Fig. 11 muestra esquemáticamente una vista lateral de otra realización del dispositivo óptico.

5 La Fig. 1 muestra una vista superior de un dispositivo óptico 101 del estado de la técnica para desviar la luz. El dispositivo óptico 101 tiene una fuente de luz 102 que acopla la luz a una guía de ondas 103 en abanico. A partir de ahí, la luz se acopla en cascada a otras guías de ondas 103 en abanico. Para el acoplamiento, al principio las guías de ondas en abanico 103 deben propagarse en paralelo para permitir el acoplamiento de la luz de la primera a la
 10 segunda guía de ondas en abanico 103. A continuación, la segunda guía de ondas en abanico 103 comienza a curvarse alejándose de la primera para alcanzar la distancia requerida, por ejemplo, el paso de píxeles en una aplicación de visualización. Una vez alcanzada la anchura total del dispositivo óptico 101, puede iniciarse la iluminación de alguna zona activa 104. Sin embargo, las pérdidas ópticas limitan los radios de curvatura mínimos de las guías de ondas en abanico 103. Utilizando un radio de curvatura que siga permitiendo una baja pérdida de propagación, por ejemplo 10 mm, y una distancia objetivo de 100 μm (equivalente al paso de píxel previsto), la distancia de propagación necesaria en la dirección z es de unos 2 mm para un acoplador óptico. Por lo tanto, es imposible lograr un salida en abanico sin un bisel considerable 105 en al menos un lado de la zona activa.

La Fig. 2 muestra una vista superior de un dispositivo óptico 101 alternativo del estado de la técnica para la captación de luz en abanico. En ella, una fuente de luz 102 está orientada a 90° con respecto a una dirección de extensión de las guías de ondas en abanico 103 sobre cierta área activa 104. Sin embargo, esto aún requiere que el bisel 105
 20 alrededor del área activa 104 sea del orden del radio de curvatura a dos lados de la pantalla. Esto no es deseable, sobre todo para las aplicaciones de visualización móviles.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente una realización de un dispositivo óptico 1 según la presente divulgación en una vista superior (plano y-z) y la Fig. 4 muestra la misma realización en una vista lateral (plano x-z). El dispositivo óptico 1 consta de una guía de ondas de salida en abanico primaria 3, dos guías de ondas de salida en abanico secundarias 4 y un acoplador de salida en abanico 5 para acoplar un haz de ondas de salida en abanico primaria 3 y las guías de ondas de salida en abanico secundarias 4. En esta realización, el acoplador en abanico 5 es un tritter, de forma que la luz puede acoplarse a ambas guías de ondas secundarias en abanico 4 con un solo acoplador. No obstante, el dispositivo óptico 1 también puede constar de una sola guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y no es necesario que el acoplador óptico de salida en abanico 5 sea un triturador. La Fig. 4 es una vista lateral en el plano, en el que se extiende la guía de ondas primaria en abanico 3. Sin embargo, se entenderá que una vista lateral de las guías de ondas secundarias en abanico 4 tendrá un aspecto similar, aparte de que su extensión en dirección z hacia la izquierda sólo llegará hasta el acoplador óptico en abanico 5, como puede verse en la Fig. 3.

Además, el dispositivo óptico 1 comprende una guía de ondas de bus 6 asociada a cada una de las guías de ondas de salida en abanico secundarias 4 y también se proporciona una guía de ondas de bus 6 asociada a la guía de ondas de salida en abanico primaria 3. El dispositivo óptico 1 comprende una estructura reflectante y de acoplamiento 7 que conecta cada guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y la guía de ondas de bus 6 respectiva. Una estructura similar de reflexión y acoplamiento también conecta la guía de ondas de salida en abanico primaria 3 y la guía de ondas de bus 6 respectiva. Como puede verse en la figura, la mayor parte de la guía de ondas de bus 6 se extiende sustancialmente paralela a una sección de la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4, sección que constituye más del 50 % de la longitud de la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4.

Cada estructura reflectante y de acoplamiento 7 es una estructura interferométrica 8 para acoplar un haz de luz que se desplaza por la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 a la respectiva guía de ondas de bus asociada 6 (o, en particular si el dispositivo óptico 1 se utiliza para aplicaciones de detección, acoplar un haz de luz que se desplaza por la guía de ondas de bus 6 a la respectiva guía de ondas de salida en abanico secundaria asociada 4) de tal manera que al menos una fracción del haz de luz acoplado se desplaza en la dirección opuesta después de salir de la estructura interferométrica 8. Las flechas junto a las guías de ondas 4, 6 son una ilustración idealizada de la dirección en que viajan los haces de luz en la guía de ondas respectiva.

La estructura reflectante y de acoplamiento 7 comprende un acoplador óptico 9 (denominado "acoplador óptico de bus") para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y la guía de ondas de bus 6 al pasar por el acoplador óptico de bus 9 en una dirección, en el que sustancialmente el 50% del haz de luz se acopla entre la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y la guía de ondas de bus 6 al pasar por el acoplador óptico de bus 9 en una dirección. La longitud del acoplador óptico de bus 9, en el que la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y la guía de ondas de bus 6 están próximas entre sí, puede ser inferior a 1 mm. Además, la estructura reflectante y de acoplamiento 7 comprende una cara reflectante de bus 10 para reflejar, al menos parcialmente, un haz de luz en la guía de ondas de bus 6 y una cara reflectante de salida en abanico secundaria 11 para reflejar, al menos parcialmente, un haz de luz en la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4. La longitud del camino óptico entre el acoplador óptico de bus 9 y la cara reflectante de bus 10 es la misma que la longitud del camino óptico entre el acoplador óptico de bus 9 y la cara reflectante de salida en abanico secundaria 11. De este modo, la estructura reflectante y de acoplamiento 7 forma una estructura interferométrica de Michelson equilibrada y/o una estructura

interferométrica de Mach-Zehnder plegada, y prácticamente toda la luz que entra en la estructura reflectante y de acoplamiento 7 en la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 sale de la estructura reflectante y de acoplamiento 7 en la guía de ondas de bus 6 en dirección inversa (debido a la interferencia constructiva en la guía de ondas de bus 6 al pasar por segunda vez por el acoplador óptico de bus 9 y a la interferencia destructiva en la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 al pasar por segunda vez por el acoplador óptico de bus 9).

La guía de ondas de salida en abanico primaria 3, la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y la guía de ondas de bus 6 están provistas en un sustrato transparente 12. Se producen mediante escritura directa por láser de femtosegundos, que es un procedimiento para conseguir trayectorias tridimensionales de las guías de ondas. Como puede verse en las figuras 3 y 4, la guía de ondas de bus 6 y la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 o la guía de ondas de salida en abanico primaria, respectivamente, se extienden sustancialmente en paralelo a lo largo de la dirección z y están espaciadas entre sí en la dirección x y en la dirección y en la mayor parte de su longitud. Por lo tanto, no hay ningún problema de interferencia en su aparente punto de intersección en la vista superior. En las proximidades de la estructura reflectante y de acoplamiento 7, se ponen al mismo nivel en la dirección x, y en el acoplador óptico de bus 9 se acercan entre sí también en la dirección y. La cara reflectante del bus 10 y la cara reflectante secundaria en abanico 11 están provistas de una faceta 13 del sustrato transparente 12.

El dispositivo óptico 1 comprende una pluralidad de guías de ondas de píxeles 14, cada una de las cuales recibe un haz de luz de una de las guías de ondas de bus 6 (o, en particular cuando se utiliza el dispositivo óptico 1 para aplicaciones de detección, dirige un haz de luz a una de las guías de ondas de bus 6). Las guías de ondas de píxeles 14 se curvan alejándose de la guía de ondas de bus 6 respectiva y se curvan hacia una superficie superior 15 del sustrato 12, que comprende un área activa que va a ser iluminada por el dispositivo óptico 1. Si el dispositivo óptico 1 se utiliza como unidad de retroiluminación, cada guía de ondas de píxeles 14 puede, por ejemplo, iluminar un píxel o un subpíxel de color de una pantalla de cristal líquido (LCD). Las guías de ondas de píxeles 14 pueden recibir la luz de la guía de ondas de bus 6 respectiva a través de un acoplador óptico, por ejemplo, acercando la guía de ondas de píxeles 14 a la guía de ondas de bus 6 respectiva.

El dispositivo óptico 1 comprende una fuente de luz 2, en la que un haz de luz emitido desde la fuente de luz 2 se acopla a la guía de ondas de salida en abanico primaria 3, y posteriormente se distribuye a través de las guías de ondas de salida en abanico secundarias 4 y las guías de ondas de bus 6 a las guías de ondas de píxeles 14. Al utilizar las estructuras reflectantes y de acoplamiento 7 para acoplar la luz entre las guías de ondas secundarias de salida en abanico 4 y las guías de ondas de bus 6, se puede utilizar toda la extensión del sustrato 12 en las direcciones y y z para la salida en abanico, el área activa puede cubrir esencialmente toda la superficie superior 15 y no hay necesidad de un bisel alrededor del área activa.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente otra realización de un dispositivo óptico 1 en una vista superior (plano y-z) y la Fig. 6 muestra la misma realización en una vista lateral (plano x-z). Esta forma de realización es en la mayoría de las partes idénticas a la forma de realización se muestra en las Figs. 3 y 4, sin embargo, algunas de las guías de ondas de píxeles 14 están colocadas de forma diferente. En particular, se proporcionan guías de ondas de píxeles 14, que están conectadas a la guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 y a la guía de ondas de salida en abanico primaria 3, a ambos lados del acoplador óptico de bus 9. Así, incluso la zona del acoplador puede formar parte de la zona activa.

La Fig. 7 muestra esquemáticamente una realización de un dispositivo óptico 1 en una vista superior (plano y-z) y la Fig. 8 muestra la misma realización en una vista lateral (plano x-z). El dispositivo óptico 1 consta de tres fuentes de luz 2, cada una de las cuales acopla la luz a una guía de ondas de salida en abanico primaria 3 diferente. Cada fuente de luz 2 puede configurarse para emitir una longitud de onda diferente, por ejemplo, luz roja, azul y verde.

La distribución de los haces de luz desde cada una de las guías de ondas de salida en abanico primarias 3 a las respectivas guías de ondas de píxeles 14 (no mostradas en la Fig. 7) funciona de la misma manera que la descrita en el contexto de las Figs. 3 y 4. Sin embargo, la guía de ondas en abanico primaria 3 y las guías de ondas en abanico secundarias 4 de cada fuente de luz 2 se encuentran en diferentes niveles de profundidad (eje x) en el sustrato 12 en la mayor parte de su longitud (véase la Fig. 8), de modo que pueden intercalarse. En particular, las guías de ondas en abanico primarias 3 y las guías de ondas en abanico secundarias 4 se ponen al mismo nivel justo antes de las estructuras reflectantes y de acoplamiento 7. Así, el abanico de cada fuente luminosa 2, en particular de cada color, es independiente de las demás fuentes luminosas 2, en particular de los demás colores. Por lo tanto, también las estructuras reflectantes y de acoplamiento 7 permanecen independientes para diferentes fuentes de luz 2 y pueden funcionar cada una en una sola longitud de onda (y en una longitud de onda diferente, dependiendo de la fuente de luz a la que estén conectadas). De este modo, se consiguen bajas pérdidas, mientras que los distintos colores se reparten por la zona activa.

La Fig. 9 ilustra esquemáticamente un modelo de estimación de pérdidas ópticas debido al número de guías de ondas de píxeles. Cuando se utiliza la arquitectura propuesta, en la que muchas guías de ondas de píxeles están conectadas a una única guía de ondas de bus, las pérdidas de la guía de ondas en el acoplamiento se vuelven importantes. Dado que las guías de ondas se acercan mucho durante el acoplamiento evanescente, pueden producirse pequeñas pérdidas y, si se producen muchas de forma secuencial, se produciría una pérdida de potencia exponencial. A

continuación se demostrará que estas pérdidas son lo suficientemente bajas como para que la presente divulgación funcione.

5 Una fila de píxeles típica consta de guías de ondas de bus portadoras de potencia (es decir, la línea de bus), y acopladores múltiples (es decir, los píxeles), que eliminan/redirigen parte de la potencia transportada por la línea de bus hacia la faceta de salida del sustrato, en particular el vidrio. El modelo simplificado utilizado para el cálculo siguiente se muestra en la Fig. 9.

10 En esta disposición, la potencia P_0 se acopla a la línea de bus y se propaga de izquierda a derecha. La línea de bus (guía de ondas de P_0 a P_{bus}) se acopla a un acoplador de referencia y a N acopladores en serie (es decir, píxeles, en este caso las líneas paralelas diagonales rectas). Después de cada acoplador se elimina una parte de la energía transportada por la línea de bus. Además, una guía de ondas de referencia acoplada a la línea de bus termina en la faceta de salida de la derecha (P_{ref}). El direccionamiento de la guía de ondas de referencia hacia la faceta de salida se realiza con un radio de curvatura de 50 mm, lo suficientemente alto como para desprestigiar las pérdidas por curvatura procedentes de esta región y permitir una estimación fiel del acoplamiento C. Suponiendo que no haya otras pérdidas de potencia, la potencia a la salida de la línea de bus (P_{bus}) es función del número (N) de los acopladores y de su coeficiente de acoplamiento C. Así, conociendo N y C, y controlando P_{ref} , se puede calcular P_{bus} y estimar las pérdidas debidas al mecanismo de acoplamiento evanescente.

15 Fabricando múltiples líneas de bus en la disposición presentada anteriormente, y variando el número N de los acopladores es posible identificar y medir la presencia de pérdidas de acoplamiento, y por lo tanto la transmisión óptica "t". La guía de ondas de referencia se utiliza para caracterizar el coeficiente de acoplamiento de los acopladores, así como para verificar la repetibilidad y estabilidad del proceso de fabricación.

20 Para este estudio se fabricaron líneas de bus con N=1, 20, 40 y 80 acopladores (N=1 es un dispositivo con sólo la guía de ondas de referencia para evaluar el coeficiente de acoplamiento, mientras que los otros consisten en 1 guía de ondas de referencia y N-1 guías de ondas de píxeles). se fabricaron 12 dispositivos para cada N, con el fin de disponer de estadísticas suficientes (la validez estadística mínima se alcanza con 4 dispositivos para cada N). Los acopladores-guías de ondas se fabricaron con una distancia de interacción de 7,75 μm , una longitud de interacción de 0 μm y curvas con un radio de 10 mm. Los radios de curvatura relacionados con las guías de ondas de píxeles y los acopladores deben estar en el intervalo de 10 mm a 50 mm para mantener unas pérdidas de transmisión óptica bajas, inferiores a 0,2 dB.

25 Concretamente, para los dispositivos con N=1 el coeficiente de acoplamiento se midió al valor de $C=0,0132$. Para N=20, $t_{avg}=0,9800\pm 0,0278$, para N=40, $t_{avg}=0,9969\pm 0,0113$ y para N=80, $t_{avg}=0,9968\pm 0,0015$. Los resultados concuerdan entre sí, y para valores de N más altos hay una mayor certeza estadística. Todos los resultados están dentro de $t=1$, por lo que no parecen inducirse pérdidas aparentes de potencia óptica debido al acoplamiento de campo evanescente entre las guías de ondas.

30 La Fig. 10 ilustra esquemáticamente consideraciones relativas a la estructura reflectante y de acoplamiento, que sin embargo no deben considerarse limitativas del concepto general de la presente divulgación. Se han fabricado y caracterizado acopladores direccionales integrados cuya faceta de salida está recubierta de metal, correspondientes a las Figs. 3 y 4, pero con todas las guías de ondas en el mismo plano x para facilitar la fabricación.

35 En particular, la región de interacción del acoplador está situada a 1 mm de la superficie de salida, lo que la hace insensible a la cantidad de material pulido (300 μm a 600 μm), demostrando al mismo tiempo su compacidad. La región de interacción del acoplador puede tener una distancia de la superficie de salida (recubierta y, por tanto, reflectante) inferior a 1 mm. En el caso del pulido como procesamiento posterior de la superficie de salida, se elimina un espesor inferior a 600 μm . Esta etapa posterior al tratamiento puede evitarse.

40 Una diferencia en la longitud de los dos brazos conduce a una potencia óptica desequilibrada del dispositivo, es decir, a una reducción de la transferencia de potencia de la guía de ondas de dirección hacia delante a la de dirección hacia atrás. Por ejemplo, para transportar el 90% de la potencia de entrada a la guía de ondas de dirección hacia atrás, opcionalmente la faceta reflectante podría ser perpendicular con una precisión de 0,1 grados. Un proceso de pulido mecánico puede producir fácilmente un ángulo similar en la faceta de salida. Para minimizar esta contribución, los brazos del acoplador deben colocarse lo más cerca posible. La distancia entre los brazos del acoplador suele estar comprendida entre 15 μm y 100 μm . Al mismo tiempo, los brazos no deben interactuar para preservar el comportamiento del interferómetro. Para cumplir estos requisitos, la distancia entre dos brazos del acoplador se fija en 15 μm . Cabe destacar que los brazos cerrados permiten reducir la longitud total del aparato. Suponiendo una faceta perfectamente perpendicular, la distancia entre los brazos puede aumentar hasta, por ejemplo, 100 μm .

45 Este circuito óptico se ha construido en un vidrio de aluminoborosilicato de 25 por 25 por 0,5 mm^3 (Eagle XG, Corning), mediante una técnica conocida como "escritura directa con láser de femtosegundos". Este proceso aprovecha la interacción no lineal entre pulsos ópticos ultracortos focalizados y un sustrato dieléctrico, para producir modificaciones permanentes en el material. Mediante el ajuste de las condiciones de irradiación de la muestra, este enfoque permite la fabricación de guías de ondas monomodo con un núcleo de aproximadamente 3 μm y un contraste del índice de refracción de aproximadamente $5 \cdot 10^{-3}$. La longitud de onda adoptada para las mediciones es de 638 nm, a la que

estas guías de ondas presentan un diámetro de campo de modo de $4,2 \mu\text{m}$, pérdidas de propagación de $0,1 \text{ dB/cm}$ y pérdidas por flexión de $0,45 \text{ dB/cm}$ a un radio de flexión de 10 mm .

5 La caracterización se ha dividido en dos partes: en primer lugar, se evalúa el funcionamiento del acoplador direccional sin revestimiento. En esta fase, la luz se acopla a través de una fibra en un modo en la faceta de entrada y la distribución de potencia entre los dos modos de salida se mide con un medidor de potencia. A continuación, se obtiene la relación de división.

10 Después, la reflexión en la faceta de salida se habilita mediante su metalización: una capa recubierta de oro de un espesor de $\sim 50 \text{ nm}$ ha sido pulverizada sobre la faceta lateral de la muestra. A continuación, se utiliza un objetivo de microscopio ($\text{NA}=0,20$) tanto para acoplar la luz en un modo de entrada como para recoger la potencia óptica propagada hacia delante y hacia atrás a través del dispositivo. Delante del objetivo se coloca un divisor de haz externo equilibrado para aislar la potencia de salida del haz de entrada. La reflexión Fresnel en la faceta de entrada, que se superpone a uno de los dos modos de salida, se mide y se tiene en cuenta en la evaluación del comportamiento del dispositivo.

15 Durante nuestras pruebas, la potencia relativa transferida del modo de entrada al acoplado reflejado fue del $92,64\%$, con una desviación estándar del $0,91\%$ entre 10 dispositivos idénticos. También se ha demostrado que este principio de funcionamiento es independiente de la distancia y la longitud de los brazos. La transferencia completa de potencia se ve obstaculizada tanto por el desequilibrio del acoplador direccional ($50,24\%$ de relación de división con una desviación estándar del $0,96\%$) como, sobre todo, por la inclinación de la faceta de salida. Esta última, producida aleatoriamente durante el proceso de pulido, provoca una diferencia en la longitud de trayectoria de los dos brazos y, por tanto, un rendimiento imperfecto del dispositivo, que puede evitarse fácilmente utilizando técnicas de pulido/corte más precisas -actualmente disponibles-, como el corte por láser.

25 La Fig. 11 muestra una vista lateral de otra realización del dispositivo óptico 1 según la presente divulgación. Esta realización comprende un diseño multicapa. El dispositivo óptico 1 funciona entre la fuente de luz 2 hasta las guías de ondas de bus 6 y las guías de ondas de píxeles 14 (no mostradas en la Fig. 11) que conducen a la superficie superior 15 de forma sustancialmente igual a la descrita en el contexto de la realización mostrada en las Fig. 3 y 4 (sólo con la dimensión x mostrada invertida). Sin embargo, en el extremo de al menos una de las guías de ondas de bus 6, está prevista otra estructura reflectante y de acoplamiento 7a, en particular otra estructura interferométrica, con otro acoplador óptico de bus 9a y una reflexión en otra faceta 13a. La otra estructura reflectante y de acoplamiento 7a acopla la luz entre la guía de ondas de bus 6 y otra guía de ondas de bus o guía de ondas de detección 16. Para simplificar, la Fig. 11 muestra esto para la guía de ondas de bus 6 conectada a la guía de ondas de salida en abanico primaria 3. Sin embargo, esto también puede (o en lugar de) proporcionarse para al menos una guía de ondas de bus 6 conectada a una guía de ondas de salida en abanico secundaria 4 respectiva. La dirección de la luz que se desplaza por las guías de ondas respectivas se ilustra esquemáticamente mediante flechas. El cruce de la guía de ondas de detección 16 con la guía de ondas de salida en abanico primaria 3 o, respectivamente, con una de las guías de ondas de salida en abanico secundarias 4 se evita puenteándola en la dimensión y y en torno al punto 17. La guía de ondas de detección 16 conduce a un detector respectivo 18, en particular un fotodiodo, que permite analizar la luz que llega allí. Al estar la guía de ondas de bus 6 cerca de la superficie superior 15, esta realización es especialmente útil para aplicaciones de detección táctil.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo óptico (1) que comprende:
- 5 una guía de ondas primaria de salida en abanico (3);
al menos una guía de ondas secundaria de salida en abanico (4);
un acoplador óptico de salida en abanico (5) para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas primaria de salida en abanico (3) y la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4); y
al menos una guía de ondas de bus (6) asociada a la al menos una guía de ondas de salida en abanico secundaria (4) y diferente de cada guía de ondas de salida en abanico secundaria (4);
10 una estructura reflectante y de acoplamiento (7) que conecta la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4) y la guía de ondas de bus (6), en el que la estructura reflectante y de acoplamiento (7) es una estructura interferométrica (8) para acoplar un haz de luz que se desplaza por la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4) a la guía de ondas de bus (6) o para acoplar un haz de luz que se desplaza por la guía de ondas de bus (6) a la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4), de manera que al menos una fracción del haz de luz acoplado se desplaza en la dirección opuesta después de abandonar la estructura interferométrica (8);
15 **caracterizado porque** la estructura reflectante y de acoplamiento (7) comprende una cara reflectante de bus (10) para reflejar al menos parcialmente un haz de luz en la guía de ondas de bus (6) y una cara reflectante secundaria de salida en abanico (11) para reflejar al menos parcialmente un haz de luz en la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4).
2. Dispositivo óptico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado porque** al menos una sección de la guía de ondas de bus (6) se extiende a lo largo de al menos una sección de la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4).
20
3. Dispositivo óptico (1) según la reivindicación 2, en el que al menos una sección de la guía de ondas de bus (6) se extiende sustancialmente paralela a una sección de la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4).
4. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la estructura reflectante y de acoplamiento (7) comprende un acoplador óptico (9) para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4) y la guía de ondas de bus (6).
25
5. Dispositivo óptico (1) según la reivindicación 4, en el que sustancialmente el 50% del haz de luz se acopla entre la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4) y la guía de ondas de bus (6) al pasar por el acoplador óptico (9) en una dirección.
6. Dispositivo óptico (1) según las reivindicaciones 4 ó 5, **caracterizado porque** la longitud del camino óptico entre el acoplador óptico (9) de la estructura reflectante y de acoplamiento (7) y la cara reflectante de bus (10) es la misma que la longitud del camino óptico entre el acoplador óptico (9) de la estructura reflectante y de acoplamiento (7) y la cara reflectante secundaria de salida en abanico (11).
30
7. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4) y la guía de ondas de bus (6) están provistas en un sustrato transparente (12), opcionalmente producidas mediante escritura directa por láser de femtosegundos.
35
8. Dispositivo óptico (1) según las reivindicaciones 5 y 7, **caracterizado porque** la cara reflectante de bus (10) y/o la cara reflectante secundaria de salida en abanico (11) están proporcionadas por una faceta (13) del sustrato transparente (12) y/o un recubrimiento de una faceta (13) del sustrato transparente (12).
9. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** al menos una guía de ondas de píxeles (14) recibe un haz de luz de la al menos una guía de ondas de bus (6) o dirige un haz de luz a la al menos una guía de ondas de bus (6) y **caracterizado porque** la guía de ondas de píxeles (14) se dobla alejándose de la guía de ondas de bus (6).
40
10. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** un elemento de ajuste de fase para ajustar la longitud relativa del camino óptico de la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4) y de la guía de ondas de bus (6) en la estructura reflectante y de acoplamiento (7), en la que el elemento de ajuste de fase comprende opcionalmente un desfasador y/o un espejo piezoeléctrico.
45
11. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** al menos una guía de ondas de bus adicional está asociada a la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4) y es diferente de cada guía de ondas de salida en abanico secundaria (4), en el que la estructura reflectante y de acoplamiento (7) también conecta la guía de ondas de salida en abanico secundaria (4) y la guía de ondas de bus adicional.
50
12. Dispositivo óptico (1) según la reivindicación 11, **caracterizado porque** la estructura reflectante y de acoplamiento (7) comprende un triturador para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas secundaria de salida en abanico (4), la guía de ondas de bus (6) y la guía de ondas de bus adicional.
13. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por**

una guía de ondas de salida en abanico primaria adicional (3);
al menos una guía de ondas de salida en abanico secundaria adicional (4); y
un acoplador óptico de salida en abanico adicional (5) para acoplar un haz de luz entre la guía de ondas de salida en abanico primaria adicional (3) y la guía de ondas de salida en abanico secundaria adicional (4).

5 14. Dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la guía de ondas primaria de salida en abanico (3) está acoplada a una fuente de luz (2) para recibir un haz de luz de la fuente de luz (2).

15. Unidad de retroiluminación para una pantalla, **caracterizada por** un dispositivo óptico (1) según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

10

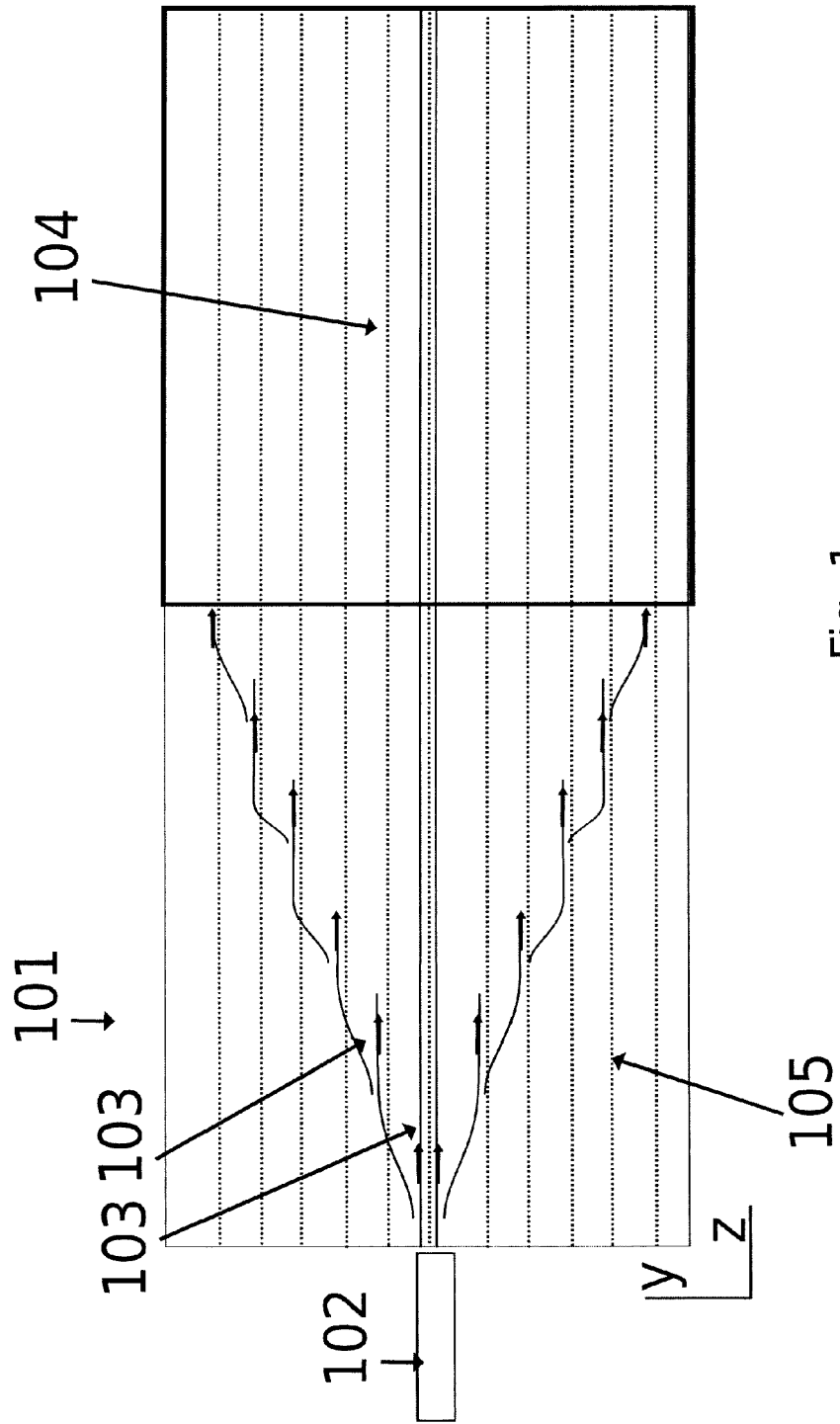


Fig. 1

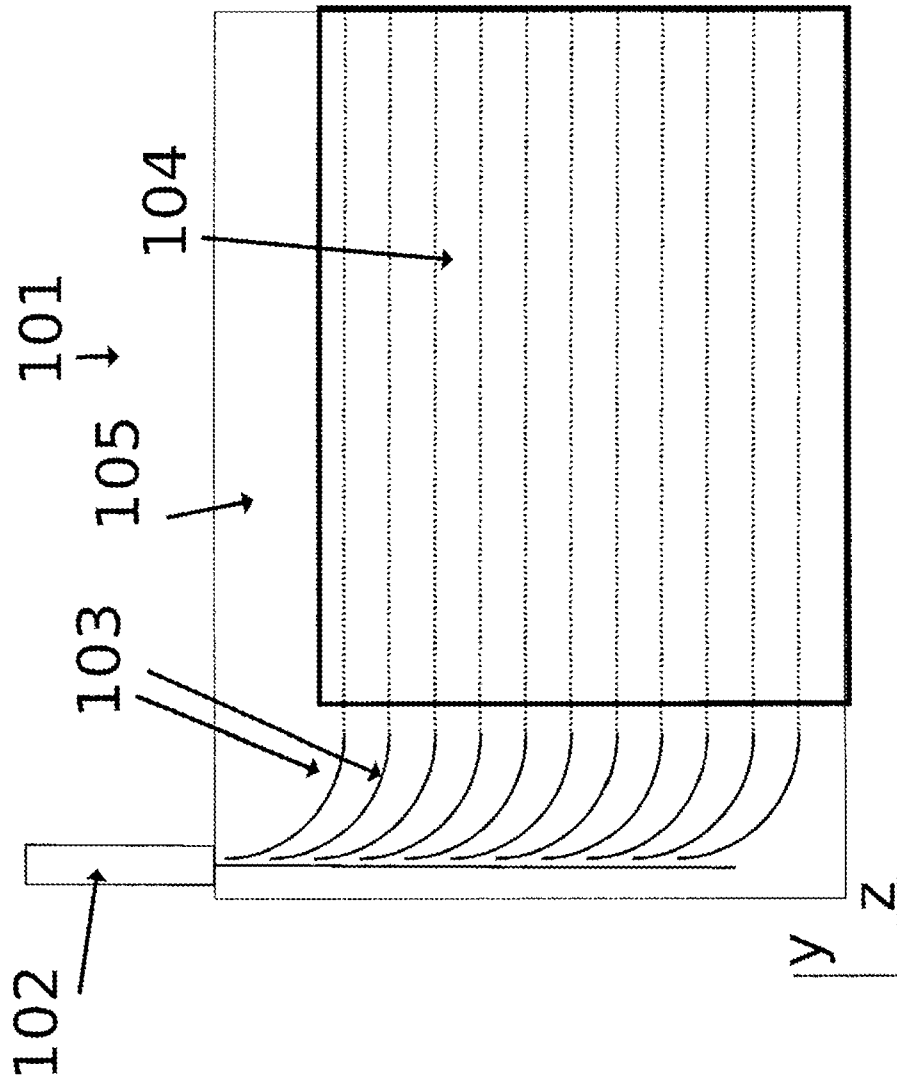


Fig. 2

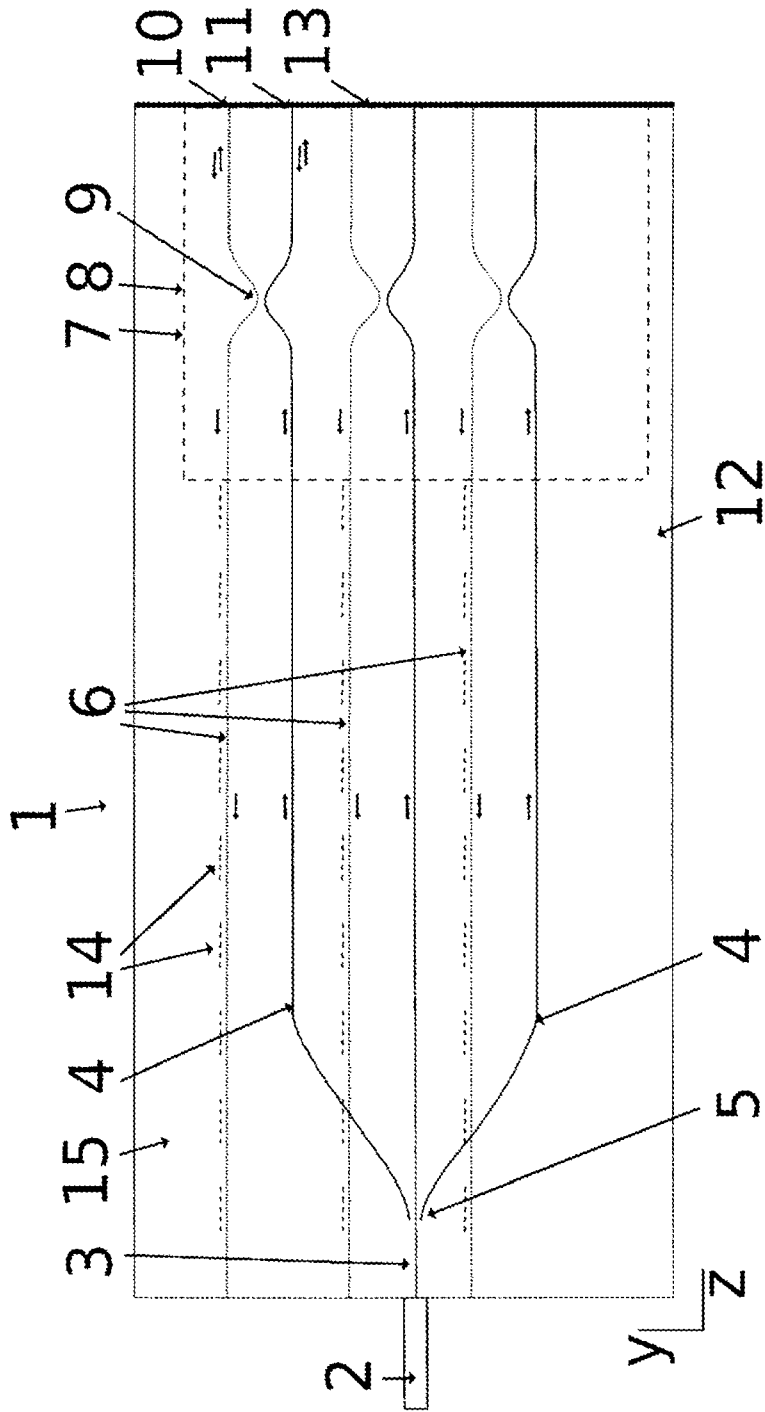


Fig. 3

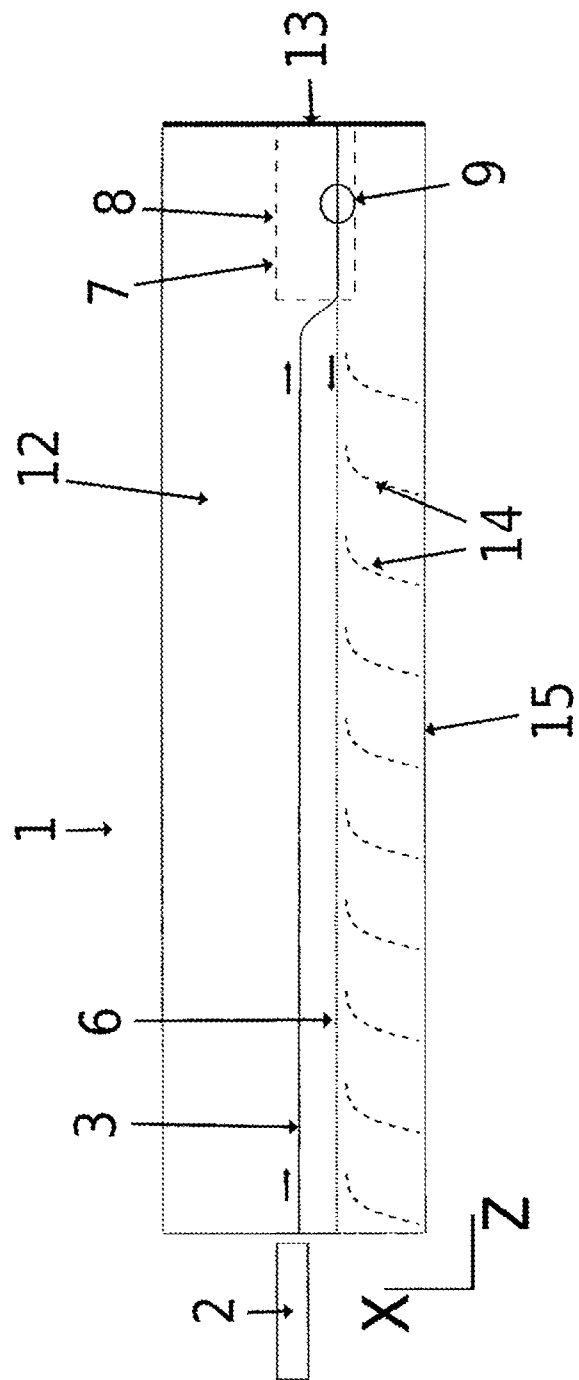


Fig. 4

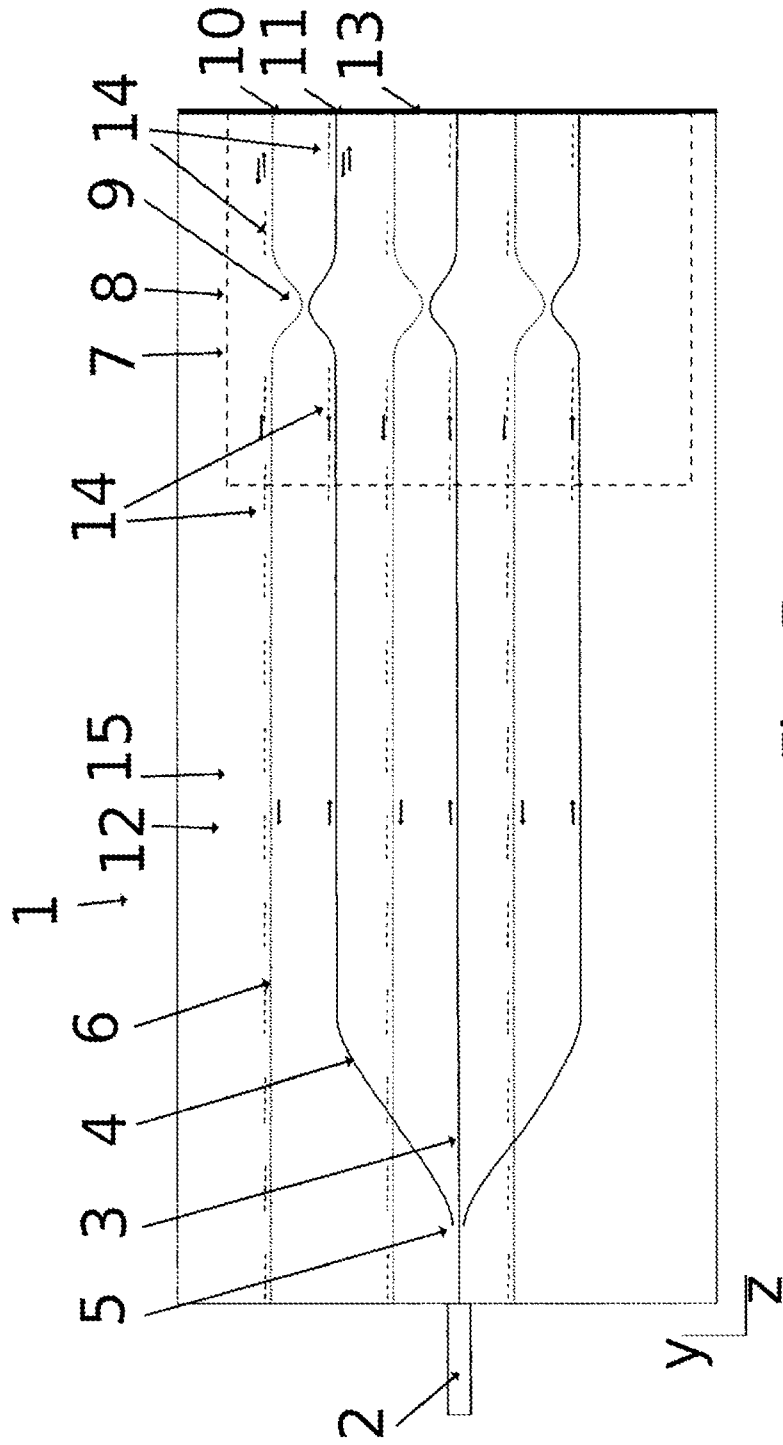


Fig. 5

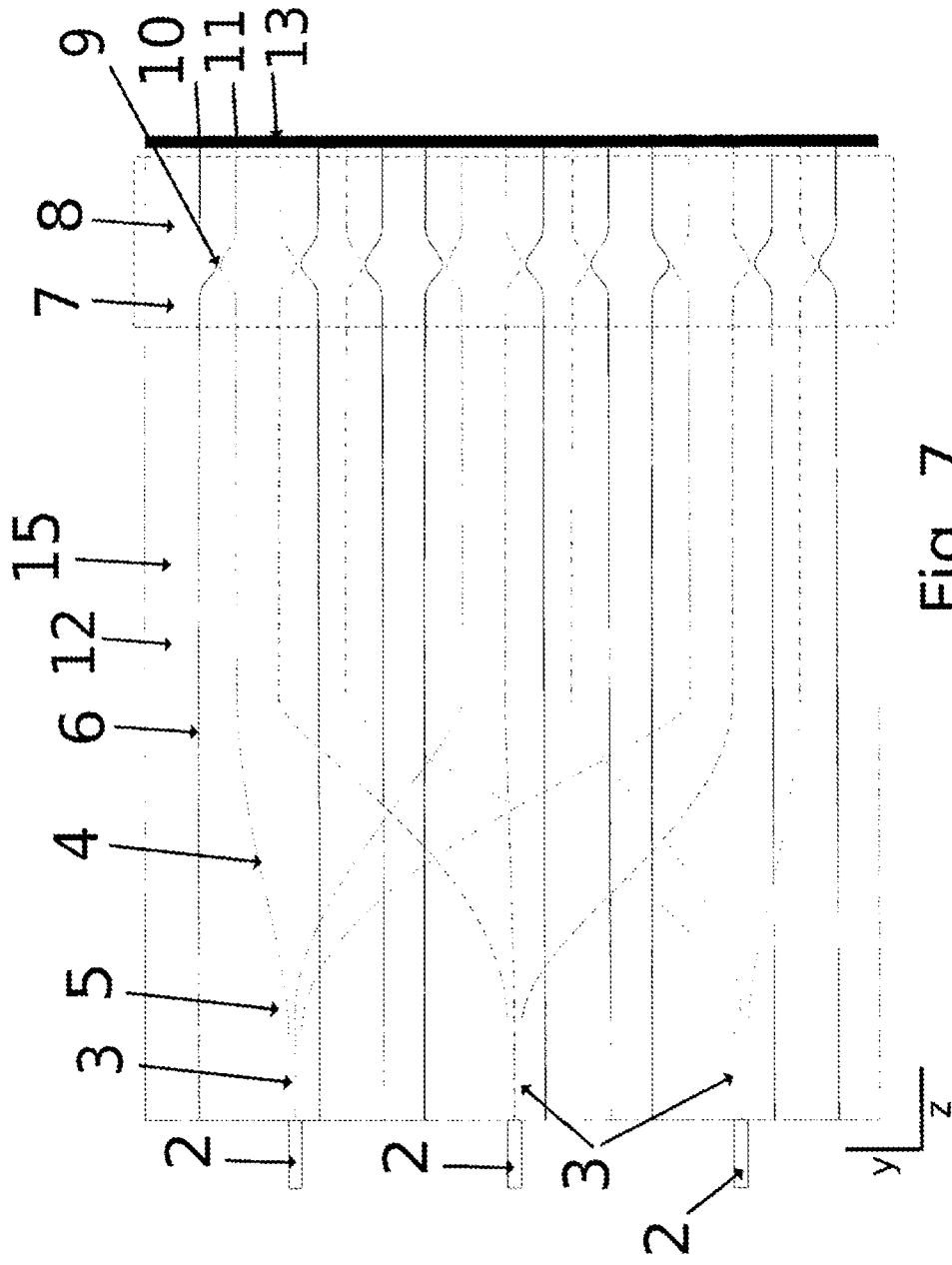


Fig. 7

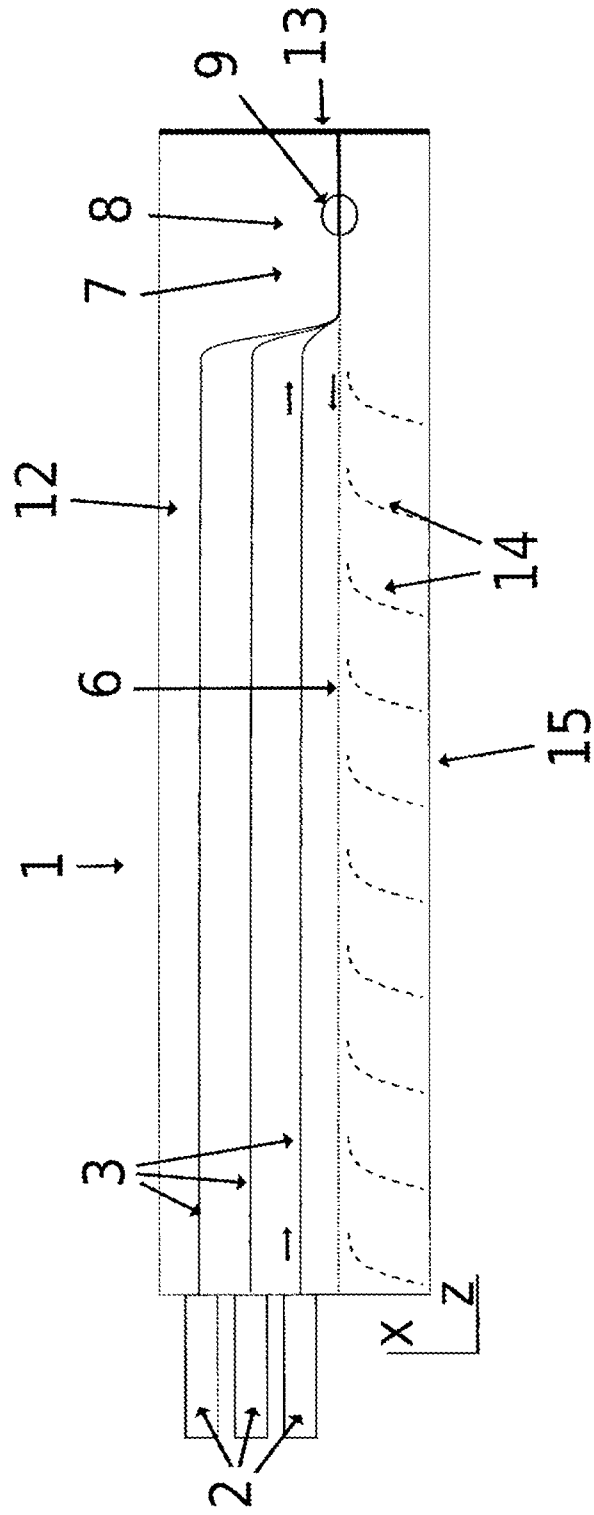


Fig. 8

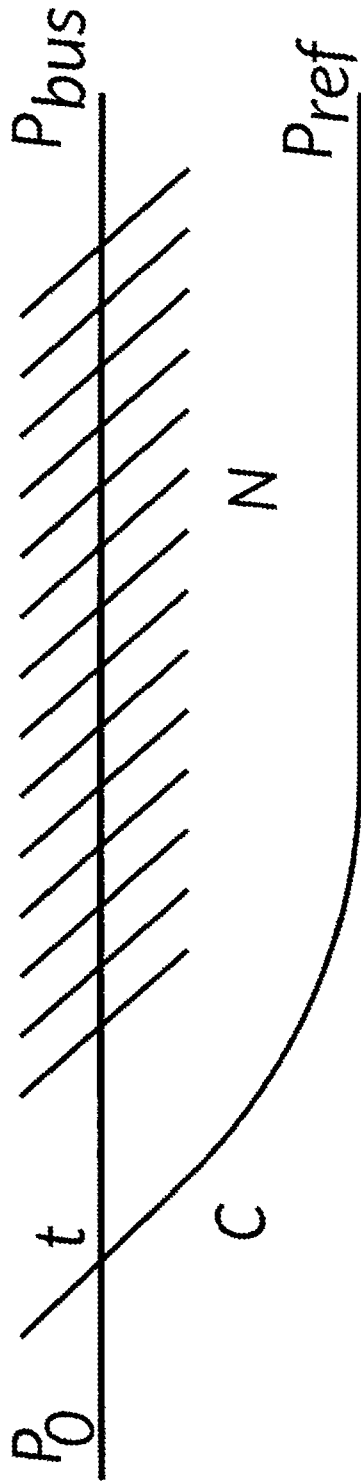


Fig. 9

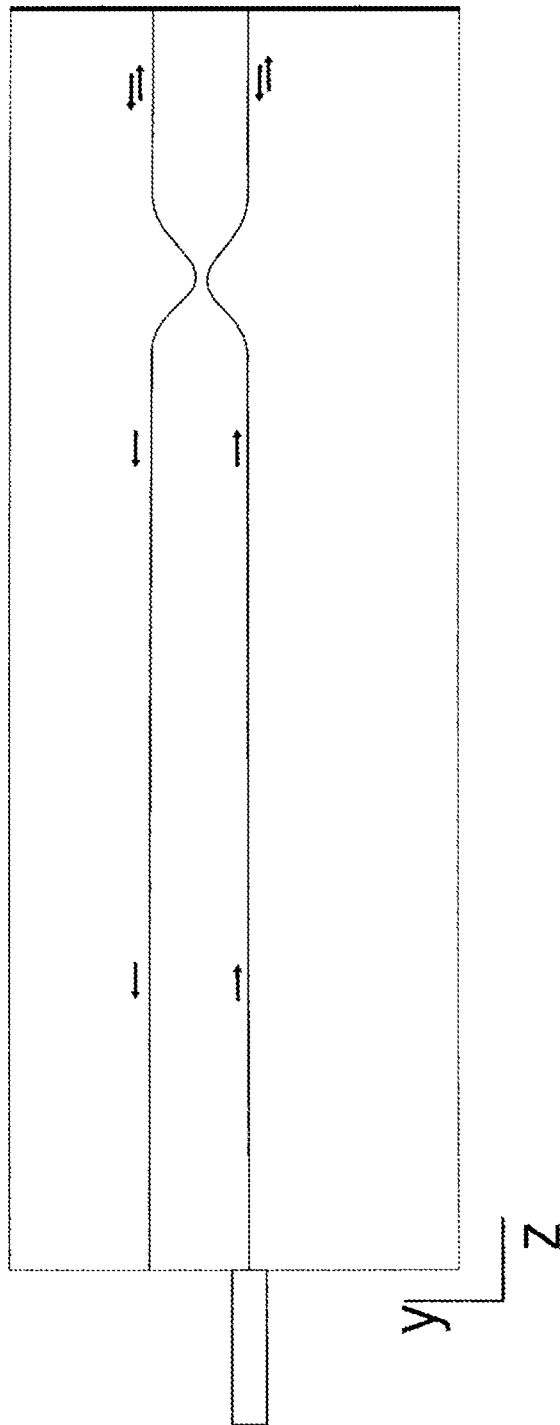


Fig. 10

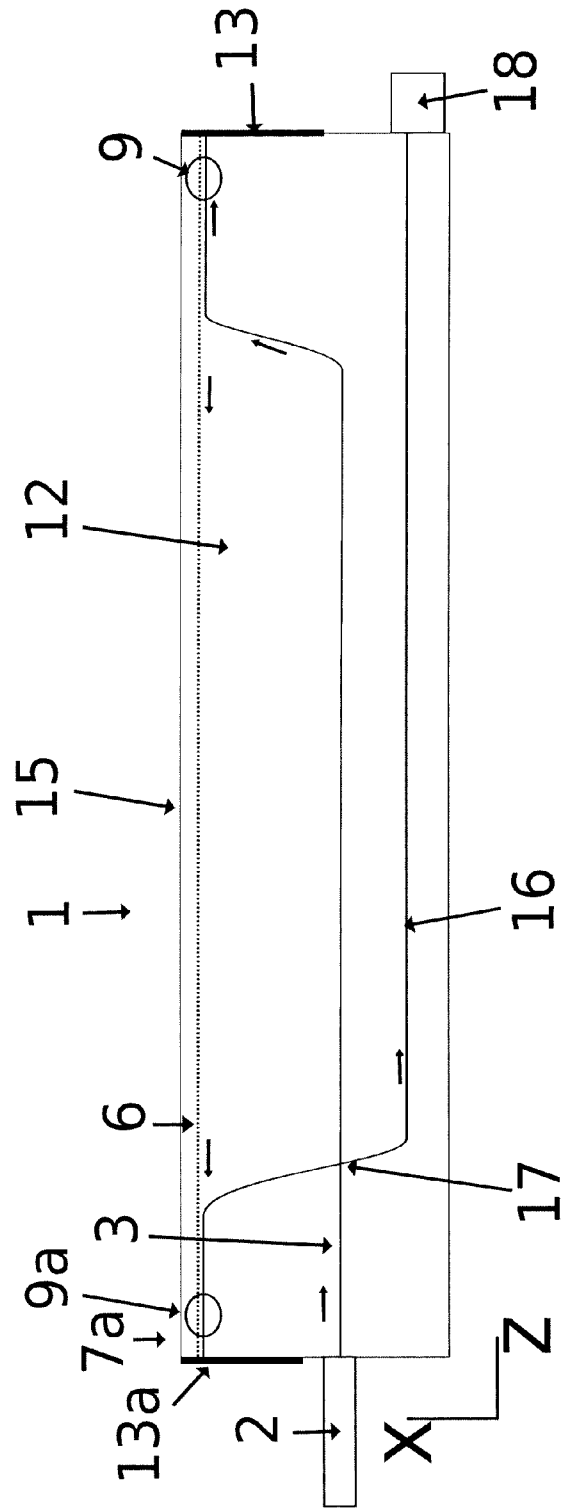


Fig. 11