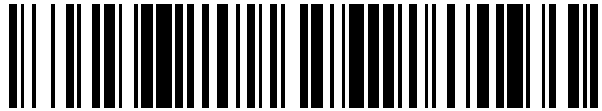


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 218**

21 Número de solicitud: 201830088

51 Int. Cl.:

G02F (2006.01)
G02F 1/1337 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

01.02.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

05.06.2018

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (50.0%)
Avda. Ramiro de Maeztu nº 7
28040 MADRID ES y
UNIVERSITEIT GENT (50.0%)

72 Inventor/es:

CAÑO GARCIA, Manuel;
OTON SANCHEZ, Jose Manuel;
GEDAY, Morten Andreas;
QUINTANA ARREGUI, Patxi Xabier;
ELMOGI, Ahmed;
MATTELIN, Marie-aline;
MISSINNE, Jeroen y
STEENBERGE, Geert Van

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **MÉTODO Y DISPOSITIVO RECONFIGURABLE PARA EL GUIADO DE UNA SEÑAL ÓPTICA CON DOS POLARIZACIONES PERPENDICULARES**

57 Resumen:

Método y dispositivo reconfigurable para el guiado de una señal óptica con dos polarizaciones perpendiculares.

La presente invención se refiere a un método y un dispositivo reconfigurable para el guiado de una señal óptica con dos polarizaciones perpendiculares que comprende: unos medios de entrada para guiar la señal óptica; unos medios de salida; un elemento birrefringente, dispuesto entre los medios de entrada y los medios de salida, que determina un primer camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares, donde dicho elemento birrefringente es conmutable entre dos estados de alineamiento; una fuente de campo electromagnético aplicable al elemento birrefringente, capaz de conmutar el estado de alineamiento del elemento birrefringente y determinar un segundo camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica en los medios de salida.

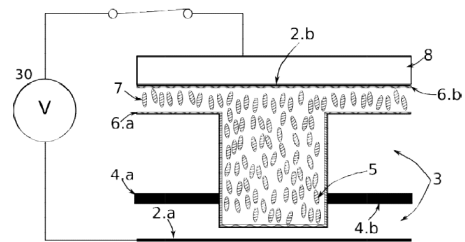


Fig. 3.A

ES 2 671 218 A1

**MÉTODO Y DISPOSITIVO RECONFIGURABLE PARA EL GUIADO DE UNA SEÑAL
ÓPTICA CON DOS POLARIZACIONES PERPENDICULARES**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de la transmisión óptica y más concretamente a los sistemas de guiado con guíaondas y óptica integrada capaces de separar y recombinar haces luminosos que circulan por dichas guías empleando materiales electroópticos.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente los circuitos integrados fotónicos (PICs de sus siglas en inglés) tienen muchas aplicaciones, incluida la nueva generación de comunicaciones ópticas. Las plataformas más usadas para la realización de PICs son “Silicio sobre aislante (SOI)” y “Fosfuro de Indio (InP)”. A estas plataformas se añade una nueva plataforma emergente bastante utilizada, la polimérica.

15

La integración y demostración de dispositivos híbridos unificando cristales líquidos (LCs de sus siglas en inglés) y PICs llevan años desarrollándose en el campo de las aplicaciones para el control de polarizaciones. Por ejemplo, la solicitud de patente US 5499307 A (S. Iwatsuka, 1996) describe la introducción de cristales birrefringentes de manera que se separan los caminos recorridos por las distintas polarizaciones. Otras propuestas en el estado del arte, como la de la solicitud de patente JP (2006)065102 A (Y. Kokubu 2006), introducen un material para producir un retardo en la luz propagada por la guíaonda, lo que provoca un cambio en la polarización. Mientras que otras soluciones recurren al fenómeno de la reflexión total interna (TIR, de sus siglas en inglés) para provocar el desvío de una de las polarizaciones de la señal óptica de entrada mientras la otra continúa propagándose sin desviaciones. Al conmutar el LC ocurre lo contrario, la polarización de la señal óptica que seguía recta, pasa a ser la reflejada, y la reflejada continúa recta.

20

25

30

Por último, en la patente US (2003)0142262 (T. Leslie 2003) se describe un sistema formado por dos guíasondas que se cortan. En la intersección se construye una cavidad que se rellena con LC. De esta manera y por el fenómeno TIR se consiguen separar polarizaciones de la luz incidente y guiarlas a dos guíasondas de salida. No obstante este dispositivo no permite intercambiar las polarizaciones de la señal óptica a la salida.

Por todo lo expuesto anteriormente, el manejo de las polarizaciones de entrada según las soluciones conocidas en el estado del arte, se basa principalmente en el fenómeno de la reflexión total interna, lo que implica un proceso de fabricación extremadamente complejo que requiere una precisión altísima en la definición y el ángulo de la interfase. Por tanto, se echa en falta una solución alternativa, más asequible técnicamente, que pueda fabricarse con mayores tolerancias y proporcione incluso la posibilidad de conmutar los haces de luz polarizada.

15

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El dispositivo de la presente invención resuelve los problemas mencionados anteriormente basando su funcionamiento en las leyes de Snell, donde, a diferencia de las soluciones conocidas en el estado del arte, es más importante la variación del índice de refracción que la homogeneidad de la interfase lo que simplifica el proceso de fabricación haciendo menos restrictivas las tolerancias.

Así, la presente invención introduce la posibilidad de separar/recombinar polarizaciones de la señal óptica, además de conmutar los respectivos puertos de salida mediante un dispositivo reconfigurable para el guiado de una señal óptica con dos polarizaciones que comprende:

- unos medios de entrada con unos primeros índices de refracción para propagar la señal óptica en una longitud de onda;
- unos medios de salida con unos segundos índices de refracción (que pueden ser iguales o no a los primeros índices de refracción) para propagar la señal óptica

en la segunda longitud de onda, donde la longitud de onda a la salida es la misma (o parte de esta) que se tiene a la entrada;

- un elemento birrefringente, dispuesto entre los medios de entrada y los medios de salida, que determina un primer camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica de entrada, donde dicho elemento birrefringente es conmutable entre dos estados de alineamiento asociados, cada uno de ellos, a un índice de refracción ordinario y un índice de refracción extraordinario;
- una fuente de campo electromagnético aplicable al elemento birrefringente, capaz de conmutar el estado de alineamiento del elemento birrefringente, lo que determina un segundo camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica en los medios de salida, en función de los primeros índices de refracción, de los segundos índices de refracción y de los índices de refracción ordinario y extraordinario del estado de alineamiento conmutado del elemento birrefringente (donde los índices ordinario y extraordinario serán los mismos que los del estado antes de conmutar, pero intercambiando sus valores).

De acuerdo a una de las realizaciones particulares de la invención, se contempla una estructura de capas en el dispositivo que comprende dos sustratos enfrentados para soportar los medios de entrada, los medios de salida y el elemento birrefringente, donde los sustratos comprenden además un par de electrodos con una capa de alineamiento conectados a la fuente de campo electromagnético y formando un sándwich con el elemento birrefringente en su interior.

Una de las realizaciones de la presente invención contempla que los medios de entrada comprendan al menos una guíaonda de entrada y los medios de salida comprendan al menos una guíaonda de salida, donde ambas guíaondas comprenden un núcleo y una cubierta.

Opcionalmente, el dispositivo de la presente invención puede utilizarse tanto en un sentido como en el inverso. Así, según una realización particular en la que el dispositivo comprende dos guíaondas de salida configuradas para recibir una sola polarización de la señal óptica por cada una de ellas; y donde la guíaonda de entrada está además

configurada para recibir el primer camino óptico determinado por el elemento birrefringente para cada una de las dos polarizaciones de la señal óptica recibidas por las guíaondas de salida; el primer camino óptico de las dos polarizaciones es el mismo. Ventajosamente, se consigue así combinar señales con polarizaciones distintas en una
5 sola señal óptica que contiene ambas polarizaciones. Así, ventajosamente, el dispositivo se comportaría como un recombinador.

El material birrefringente se dispone en una cavidad practicada entre los medios de entrada y de salida, donde, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención, dicha
10 cavidad forma un cierto ángulo respecto a los medios de entrada y posee una anchura determinada que secciona completamente el núcleo de la guíaonda de entrada.

El material birrefringente se contempla que, de acuerdo a diferentes realizaciones de la invención sea bien un cristal líquido nemático ordinario o bien un cristal nemático de
15 frecuencia dual que presenta anisotropía dieléctrica positiva o negativa y conmuta entre los dos estados de alineamiento en función de la frecuencia del campo eléctrico aplicado por la fuente de campo eléctrico.

Una realización particular de la presente invención contempla que los medios de
20 salida comprendan dos guíaondas de salida dispuestas para recibir, cada una de ellas, una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica de acuerdo al primer camino óptico asociado con un primer estado de alineamiento del material, donde cuando el material birrefringente conmuta a un segundo estado de alineamiento, el primer camino óptico y el segundo camino óptico se intercambian. Así, ventajosamente, el dispositivo se
25 comporta como un conmutador.

En una de las realizaciones particulares de la invención, el elemento birrefringente tiene un índice de refracción ordinario sustancialmente igual al índice de refracción efectivo con el que se propaga el modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la
30 señal óptica y un índice extraordinario mucho mayor que el índice de refracción efectivo con el que se propaga el modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la señal óptica, y donde los medios de salida comprenden dos guíaondas paralelas, donde una de ellas está alineada con una guíaonda de entrada.

En una de las realizaciones particulares de la invención, el material birrefringente y los medios de entrada y de salida se disponen tal que, según un primer estado de alineamiento, el primer camino óptico para una primera polarización de la señal óptica es guiado fuera de los medios de salida y el primer camino óptico para una segunda polarización de la señal óptica es guiado a los medios de salida, donde cuando el material birrefringente conmuta a un segundo estado de alineamiento, el segundo camino óptico para la primera polarización de la señal óptica es guiado a los medios de salida y el segundo camino óptico para la segunda polarización de la señal óptica es guiado fuera de los medios de salida. Así, ventajosamente, el dispositivo se comporta como un polarizador/aislante de polarización, seleccionando una de las dos polarizaciones lineales o como un interruptor óptico, obstruyendo o permitiendo el paso de una polarización de la luz.

De acuerdo a una de las realizaciones particulares de la invención, el elemento birrefringente tiene un índice de refracción ordinario menor que el índice de refracción con el que se propaga el modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la señal óptica y un índice extraordinario mucho mayor que el índice de refracción con el que se propaga el modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la señal óptica, donde los medios de salida comprenden dos guíaondas paralelas y una de ellas está alineada con una guíaonda de entrada.

El dispositivo de la presente invención, de acuerdo a diferentes realizaciones particulares que varían la relación entre el primer índice de refracción de los medios de entrada, el segundo índice de refracción de los medios de salida y los índices ordinario y extraordinario del material birrefringente, adquiere uno de los siguientes comportamientos: como polarizador/aislante de polarización, seleccionando una de las dos polarizaciones perpendiculares; como interruptor óptico, obstruyendo o permitiendo el paso de la señal óptica por los medios de salida; o como conmutador, haciendo que las polarizaciones perpendiculares de la señal óptica de la entrada se intercambien en los medios de salida.

Una de las realizaciones del dispositivo de la presente invención comprende una estructura tipo sándwich que comprende, de fuera hacia dentro, la siguiente estructura de capas: dos sustratos, dos electrodos, dos capas de conductor, una cubierta inferior, una cubierta superior, un núcleo de guíaonda entre la cubierta inferior y la cubierta superior, una cavidad que atraviesa el núcleo de la guíaonda, una capa de alineamiento y un cristal

liquido que rellena la cavidad.

Opcionalmente, uno o más dispositivos de la presente invención pueden integrarse en un chip fotónico. En caso de implementar varios dispositivos en dicho chip se
5 contempla tanto la conexión en serie como en paralelo de los mismos, así como una combinación de conexiones en serie y paralelo.

Otro aspecto de la invención se refiere a un método para el guiado de una señal
10 óptica con dos polarizaciones perpendiculares que comprende los pasos de:

- 10 - recibir la señal óptica en unos medios de entrada con unos primeros índices de refracción para propagar la señal óptica en una longitud de onda;
- proporcionar un primer camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica mediante un elemento birrefringente, dispuesto entre los medios de entrada y unos medios de salida, donde dicho
15 elemento birrefringente es conmutable entre dos estados de alineamiento asociados, cada uno de ellos, a un índice de refracción ordinario y un índice de refracción extraordinario;
- aplicar una fuente de campo electromagnética al elemento birrefringente para conmutar el estado del elemento birrefringente;
- 20 - determinar un segundo camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica en los medios de salida, en función de los primeros índices de refracción , de los segundos índices de refracción y de índices de refracción ordinario y extraordinario del estado de alineamiento conmutado del elemento birrefringente;
- 25 - proporcionar el segundo camino óptico a cada una de las polarizaciones perpendiculares mediante los medios de salida con unos segundos índices de refracción para propagar la señal óptica en la longitud de onda.

Adicionalmente, se contempla el funcionamiento en sentido inverso del dispositivo.
30 Es decir, aplicando en los medios de salida (dos guíasondas por ejemplo) señales con distintas polarizaciones, al atravesar el elemento birrefringente en su camino hacia los medios de entrada, cada una de las polarizaciones de la señal óptica será desviada en función de los índices de refracción de los medios salida, de los índices de refracción de los medios de entrada y de los índices de refracción ordinario y extraordinario del estado

de alineamiento del elemento birrefringente. De esta manera se proporciona un primer camino óptico (y un segundo camino óptico al conmutar el elemento birrefringente) que es igual para cada una de las polarizaciones de la señal óptica, de forma que se combinan en una sola señal óptica guiada hacia los medios de entrada.

5 El método de fabricación del dispositivo de la presente invención añade un paso sobre los métodos habituales de fabricación de los circuitos fotónicos integrados (PICs) y células de cristal líquido. Este paso es el ataque necesario para crear la cavidad plano-paralela, que puede realizarse mediante técnicas de ataque húmedo, RIE, ablación láser o cualquier otra técnica conocida.

10

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, el diseño del dispositivo de la presente invención hace que el proceso de fabricación sea más sencillo que las soluciones conocidas del estado del arte y, por tanto, menos costoso.

15 DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Para complementar la descripción que seguidamente se va a realizar y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de la invención, se acompaña la presente memoria descriptiva, formando parte integrante de la misma, un juego de figuras en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

20

La **Figura 1.-** muestra un corte transversal a lo largo de la guía de onda de entrada del dispositivo donde se pueden ver las capas de la invención.

25

Las **Figuras 2A-2F.-** muestran una vista general perpendicular al sustrato de distintas configuraciones de la invención.

30

Las **Figuras 3A-3B.-** muestran una vista en detalle de los estados de alineamiento de la lámina planoparalela, en presencia y en ausencia de campo eléctrico respectivamente.

Las **Figuras 4A-4B.**- muestran una vista en detalle de los estados de alineamiento de la lámina planoparalela en función de la variación de la frecuencia del campo eléctrico aplicado.

5 Las **Figuras 5A-5B.**- muestran un corte en el plano que contiene las guíaondas con una configuración y selección de materiales particular, según una de las realizaciones de la invención.

10 Las **Figuras 6A-6B.**- muestran un corte en el plano que contiene las guíaondas con una configuración y selección de materiales particular, según una de las realizaciones de la invención.

15 Las **Figuras 7A-7B.**- muestran un corte en el plano que contiene las guíaondas con una configuración y selección de materiales particular, según una de las realizaciones de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

20 La presente invención se refiere a un dispositivo de guiado para la separación/recombinación de polarizaciones luminosas lineales perpendiculares (TE/TM) en guíaondas de luz dieléctricas. Se basa en las actuales plataformas de circuitos fotónicos integrados (PIC) y la adición de cristal líquido LC.

25 La polarización TE se refiere a aquella que es paralela al sustrato y la polarización TM a la que es perpendicular al sustrato; dicha convención es la utilizada en óptica integrada. Para el índice efectivo del modo que se propaga con polarización TE se usa n_{TE} , análogamente, para el índice efectivo del modo que se propaga con polarización TM se usa n_{TM} . El LC posee dos índices de refracción, dependiendo de su orientación espacial, un índice de refracción ordinario (n_o) y un índice de refracción extraordinario (n_e). Así mismo, conviene definir también el vector director, como un vector de carácter
30 orientacional, el cual indica la orientación de las moléculas según su eje largo (normalmente coincide con la dirección de n_e).

El dispositivo de la presente invención, de acuerdo a una de sus realizaciones que se ilustra en el corte transversal a lo largo de la guía de onda de la **figura 1**, comprende una estructura en forma de sándwich donde dos sustratos se enfrentan y se unen. El primer sustrato 1 cuenta con un primer electrodo 2.a que soporta los materiales empleados para fabricar las guíaondas (en el presente documento se entiende como guíaonda a cualquier conjunto de materiales (núcleo y cubierta) que guíen la luz en la longitud de onda deseada) con cubierta 3 y núcleo 4, donde al menos hay una guíaonda de entrada 4.a y al menos una de salida 4.b. En la intersección entre las entradas y las salidas se dispone una cavidad 5 en forma de lámina planoparalela insertada con un ángulo θ respecto a la guíaonda. La superficie de la cavidad se trata con una capa de alineamiento 6.a y posteriormente se rellena con un LC 7. Todo ello se cubre con el segundo sustrato 8, donde previamente se ha depositado un segundo electrodo 2.b tratado con una capa de alineamiento 6.b, unido al primer sustrato formando un sándwich, como convencionalmente se hace con las pantallas de LC.

15

El dispositivo de guiado de la presente invención es dependiente de la longitud de onda de la luz empleada y puede funcionar a longitudes de onda de la luz incidente que van desde el visible hasta el infrarrojo cercano. La presente invención hace uso de la anisotropía óptica y dieléctrica del LC mediante la intersección de una lámina planoparalela con un cierto ángulo en la guíaonda. Los distintos índices de refracción que experimenta la señal óptica que se propaga según las distintas polarizaciones, produce diferentes caminos ópticos para cada polarización, haciendo que estas se guíen en diferentes guíaondas a la salida de la lámina planoparalela.

El dispositivo de guiado puede adoptar diversas configuraciones, dependiendo de los materiales empleados y de la funcionalidad deseada (como por ejemplo un interruptor o un separador de polarizaciones). Dependiendo de la relación de índices de refracción de las guíaondas y del material birrefringente (LC), el dispositivo muestra tres comportamientos distintos: como polarizador/aislante de polarización, seleccionando una de las dos polarizaciones lineales de la señal óptica incidente, como interruptor óptico, obstruyendo o permitiendo el paso de luz por las guíaondas de salida, y como conmutador

30

de polarizaciones, haciendo que las polarizaciones lineales de las señales ópticas de las entradas se intercambien en las guíaondas de salida.

En la **figura 2** se muestra una vista general perpendicular al sustrato. Está formada por una imagen principal 2A y cinco imágenes secundarias 2B, 2C, 2D, 2E, 2F. En la imagen principal 2A se puede ver una guíaonda de entrada 20, dos guíaondas de salida 21 y la lámina planoparalela 22 que interseca a las guíaondas. En las figuras secundarias se muestran varias realizaciones con diferentes geometrías, dependiendo de los índices de refracción de los materiales empleados. Las diferencias entre geometrías vienen dadas por la Ley de Snell y la combinación de índices de refracción del material birrefringente (n_o, n_e) con el índice con el que se propagan modos guiados en la guíaonda (n_{TE}, n_{TM}). La ley de Snell viene determinada por la ecuación:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

donde θ_1 y θ_2 son los ángulos de entrada y salida respecto a la normal de la lámina plano-paralela, n_1 para nuestro caso serían los índices de propagación de los modos (n_{TE}, n_{TM}) y n_2 serían los índices de refracción de (n_o, n_e) que cambian según la polarización del modo guiado y de la orientación del material birrefringente.

Así, las geometrías sólo difieren en la posición de las guíaondas de salida. Estas guíaondas han sido posicionadas calculando minuciosamente la desviación de la señal óptica debido al cambio de índice de refracción en la intersección plano-paralela. Esto provoca un cambio en el ángulo que, junto con la anchura de la cavidad, determina su posicionamiento. En las imágenes secundarias 2B-2F se esquematiza donde se disponen las guíaondas dependiendo de la relación entre índices de refracción para una cavidad de anchura constante y un ángulo determinado.

25

Suponiendo un LC de anisotropía dieléctrica positiva (el vector director se alinea con la dirección del campo eléctrico), el índice efectivo del LC dentro de la cavidad para la luz que se propaga según el modo TE, en el plano que contiene las guíaondas, viene determinado por la ecuación:

$$n_{eff}(\theta) = \left[\frac{n_o^2 n_e^2}{n_e^2 \cos^2(\theta) + n_o^2 \sin^2(\theta)} \right]^{1/2}$$

mientras que para la luz que se propaga según el modo TM corresponde n_o . En cambio para la configuración paralela al campo eléctrico, para la luz que se propaga según el modo TM el índice es n_e , y para la luz que se propaga según el modo TE el índice es n_o . En caso de tener un LC con anisotropía dieléctrica negativa ocurriría lo contrario (El LC se alinea perpendicular al campo eléctrico donde la luz que se propaga según el modo TE “ve” un índice efectivo n_e y para la luz que se propaga según el modo TM “ve” un índice de refracción n_o), pero el dispositivo sería igualmente funcional.

El dispositivo de guiado de la presente invención permite el conmutado de los caminos ópticos proporcionados a cada una de las polarizaciones de la señal óptica, cambiando así la polarización de la luz guiada a la salida. A diferencia de los dispositivos separadores de polarizaciones pasivos conocidos en el estado del arte (que no permiten seleccionar la guíaonda de salida de la señal óptica) y de las soluciones activas (que permiten la conmutación, pero de manera muy lenta ya que dependen de difusión térmica o de fuerzas de anclaje superficial y son muy complicadas de fabricar), el dispositivo de la presente invención utiliza un medio birrefringente que puede tener anisotropía dieléctrica positiva, negativa o dependiente de la frecuencia (figuras 4A y 4B) de la señal eléctrica aplicada (conocidos como “dual frequency” o de frecuencia dual). En este último, con LCs de frecuencia dual la velocidad de respuesta del dispositivo depende del campo aplicado (a una u otra frecuencia) y no de la fuerza del tratamiento superficial, lo cual los hace tres órdenes de magnitud más rápidos que los LCs estándar, al no regirse por los tiempos de relajación.

Así, en la **figura 2B** se muestra la geometría para un dispositivo con unos índices de refracción tal que $n_o < n_{TE, TM}$ y $n_e > n_{TE, TM}$. En la **figura 2C** se muestra la geometría para un dispositivo con unos índices de refracción tal que $n_o = n_{TE, TM}$ y $n_e > n_{TE, TM}$. En la **figura 2D** se muestra la geometría para un dispositivo con unos índices de refracción tal que $n_o > n_{TE, TM}$ y $n_e > n_{TE, TM}$. En la **figura 2E** se muestra la geometría para un dispositivo con unos índices de refracción tal que $n_o < n_{TE, TM}$ y $n_e < n_{TE, TM}$. En la **figura 2F** se muestra

la geometría para un dispositivo con unos índices de refracción tal que $n_o < n_{TE,TM}$ y $n_e = n_{TE,TM}$.

5 Existen múltiples combinaciones de anchura de cavidad y ángulo que permiten obtener dispositivos con la misma funcionalidad. Existe un compromiso entre pérdidas por reflexión y modificación del camino óptico. Se busca el ángulo y anchura de cavidad menores posibles para reducir las pérdidas por reflexión y scattering en el medio birrefringente, que proporcione una desviación del camino óptico suficiente para posicionar las guíaondas de salida.

10

Las **figuras 3A y 3B** muestran en detalle la zona de la lámina planoparalela y cómo cambia el alineamiento de las moléculas del cristal líquido ante la presencia o no de un campo eléctrico aplicado por una fuente de campo eléctrico 30. Concretamente, la **figura 3A** representa el alineamiento del LC cuando se aplica un campo eléctrico entre los
15 electrodos. La **figura 3B** representa el alineamiento del LC en ausencia de campo eléctrico.

Las **figuras 4A y 4B** muestran la misma zona del dispositivo que las figuras 3A y 3B, pero en este caso la tensión se mantiene aplicada, y lo que se varía es la frecuencia de la señal aplicada por una fuente de campo eléctrico 40. Así, en la **figura 4A** se aplica
20 tensión a una frecuencia tal que las moléculas de LC se alinean paralelas al campo eléctrico. En la **figura 4B** se aplica tensión a una frecuencia tal que las moléculas de LC se alinean perpendiculares al campo.

25 El conjunto de **figuras 5, 6 y 7** representan un corte en el plano que contiene las guíaondas. Se dispone de una guíaonda de entrada y dos de salida. En las figuras también está representado el ángulo θ entre la guíaonda y la perpendicular al ángulo de corte. Si el LC está alineado en el plano de las guíaondas, θ corresponde al ángulo formado entre el vector director y la guíaonda. En dichas figuras se puede observar cómo
30 están definidas las polarizaciones, TE contenida en el plano que une las guías y TM normal a dicho plano.

Las **figuras 5A y 5B** representan a un LC con unas propiedades tales que $n_o < n_{TE, TM}$ y $n_e \gg n_{TE, TM}$. Cuando se aplica tensión a un LC de anisotropía eléctrica positiva o en el caso de un LC de frecuencia dual, se aplica tensión a la frecuencia correspondiente a la configuración paralela (tensión de la frecuencia necesaria para que el LC de frecuencia dual se alinee paralelo al campo), se obtiene lo ilustrado en la **figura 5A** donde la señal óptica que se propaga según el modo TE se desvía fuera de las guíaondas y dispersada en la cubierta, mientras que la señal óptica que se propaga según el modo TM se guía a la guíaonda 52. En caso que el LC posea anisotropía eléctrica negativa se tendría el efecto opuesto, pero el dispositivo sigue siendo igualmente válido. En la **figura 5B**, donde la guíaonda 50 es prolongación de la entrada 51, se aplica una tensión nula o, en caso de un LC de frecuencia dual, se aplica tensión a la frecuencia de configuración perpendicular (tensión a la frecuencia necesaria para que el LC de frecuencia dual se alinee perpendicular al campo). En este caso la señal óptica que se propaga con polarización TM es desviada fuera de las guíaondas y se dispersa en la cubierta, mientras que la que se propaga con polarización TE es guiada a la salida 52.

Las **figuras 6A y 6B** representan una realización con unas propiedades tales que $n_o \approx n_{TE, TM}$ y $n_e \gg n_{TE, TM}$. Este diseño consiste en dos guíaondas paralelas y su principal dificultad radica en la selección de materiales, puesto que el n_o debe coincidir con $n_{TE, TM}$. Para tensión aplicada con un LC de anisotropía eléctrica positiva o, en el caso de un LC de frecuencia dual, tensión aplicada a frecuencia de configuración paralela, se obtiene la situación representada en la **figura 6A**, donde la señal óptica que se propaga según el modo TE continúa por la guíaonda 60 y la señal óptica que se propaga según el modo TM continúa por la guíaonda 62. En cambio, cuando hay ausencia de tensión o, si para un LC de frecuencia dual se aplica una tensión con frecuencia de configuración perpendicular, se da la situación de la **figura 6B**, donde la señal óptica que se propaga según el modo TE es desviada a la salida 62, y la señal óptica que se propaga según el modo TM continúa recto por 60.

Las **figuras 7A y 7B** representan una realización con unas propiedades tales que $n_o < n_{TE, TM}$ y $n_e \gg n_{TE, TM}$. La principal diferencia con el conjunto de **figuras 5 y 6** es el posicionamiento de las salidas 70 y 72, lo que supone un diseño más complejo en el que

las guías de salida no están alineadas con las guías de entrada. De esta manera, la configuración de la **figura 7A** se obtiene como consecuencia de la aplicación de un campo eléctrico en un LC de anisotropía eléctrica positiva o, cuando se aplica un campo eléctrico a un LC de frecuencia dual, de la aplicación de la frecuencia de configuración paralela. En este caso la señal óptica que se propaga con polarización TE es guiada hacia la guía de salida 70 (que se ha dispuesto justo en la desviación de la luz que se propaga según el modo TE) y la señal óptica que se propaga con polarización TM es guiada hacia la guía de salida 72. En cambio para la configuración de tensión de frecuencia perpendicular (para un LC de frecuencia dual) o tensión nula (para un LC de anisotropía eléctrica positiva), la señal óptica que se propaga con polarización TM se guía hacia la guía de salida 70, y la señal óptica que se propaga con polarización TE se guía hacia la guía de salida 72.

En estas dos últimas realizaciones particulares del conjunto de figuras 6 y 7, el dispositivo reconfigurable de guiado actúa como un separador de polarizaciones de la señal óptica que además es capaz de conmutar y elegir la salida de cada polarización.

En todas las realizaciones anteriormente descritas, se pueden invertir el sentido de la señal óptica, introduciéndola por las salidas (una polarización diferente por cada una de las salidas) y extrayéndola por la entrada (combinadas ambas polarizaciones en una sola señal óptica). De esta manera se tienen dispositivos capaces de combinar señales ópticas con polarizaciones distintas. De acuerdo a las figuras, este funcionamiento se correspondería con el sentido inverso de las flechas, que indican el sentido de propagación de las señales ópticas.

En caso de seleccionar otro tipo de LC que no cumpla las características de índices anteriormente descritas, sería necesario reestructurar el posicionamiento de entradas y salidas, pero el funcionamiento sería análogo al expuesto.

El dispositivo se puede comercializar con entradas y salidas acopladas a fibras ópticas estándar para garantizar un adecuado acoplo de luz a las guías. El dispositivo

deberá, además, proveerse con las conexiones eléctricas adecuadas para poder aplicar los campos eléctricos necesarios para conmutar el LC en la lámina plano-paralela.

5 El dispositivo puede fabricarse en cascada, es decir en un mismo chip se pueden tener varios dispositivos interconectados empleando las diferentes funcionalidades descritas, obteniéndose así un dispositivo más complejo, capaz de manipular las polarizaciones de la señal óptica.

10 De acuerdo a una realización preferida de la presente invención, la fabricación de un dispositivo reconfigurable de guiado comprende los siguientes pasos:

15 - En primer lugar se seleccionan dos sustratos planos. El material del que están hechos los sustratos puede ser vidrio, cuarzo, polímeros transparentes como PMMA, cerámica, silicio u otros materiales inertes y rígidos. Ambos sustratos deben ser adecuados (y acondicionados) para la deposición de capas que se describe a continuación.

- Sobre ambos sustratos se crea una capa conductora mediante cualquier proceso de deposición.

20 - Sobre uno de los sustratos con capa conductora, se crece/deposita la capa de cubierta inferior. Dependiendo de la plataforma usada puede ser de material inorgánico como el SiO₂ u orgánico (polímeros de bajo índice de refracción).

25 - Sobre la cubierta inferior se crece/deposita la capa de núcleo de la guíaonda, Fabricada en un material transparente (sin pérdidas) en la longitud de onda deseada y cuya característica principal es que su índice de refracción debe ser mayor que el de la cubierta. En esta capa se graba la guíaonda mediante cualquier procedimiento litográfico: fotolitografía y ataque, fotolitografía por estampación (NIL), procesos de escritura directa láser (DWL) u otros.

30 - Una vez finalizada la grabación del núcleo, se deposita una capa de cubierta, la cubierta superior. Hasta este punto el proceso es equivalente al proceso normal de fabricación de un PIC.

- Mediante una técnica de micro-/nano- fabricación, como por ejemplo RIE, ataque químico o ablación láser, se añade la cavidad (que constituirá la lámina planoparalela una vez se rellene con LC) entre las guíaondas de entrada y salida.

5

- Se deposita una capa de alineamiento encima de la cubierta donde se ha realizado la cavidad y otra en el sustrato con capa conductora. La capa de alineamiento puede incluir compuestos orgánicos o inorgánicos, o métodos para inducir alineamiento por procedimientos físicos: la capa puede acondicionarse con o sin frotado de la superficie, o por fotoalineamiento, estabilización en 2D o 3D o cualquier otro tipo de procedimiento utilizado de forma estándar con o sin la aplicación de campos eléctricos o magnéticos externos.

10

- Se ensamblan los dos sustratos, formando una célula con las caras interiores enfrentadas entre sí y con una distancia calibrada (típicamente entre 1 μm y varios cientos de μm) entre ambos sustratos.

15

- Se infiltra el cristal líquido en la célula utilizando cualquiera de los métodos conocidos.

- Se conectan ambas capas conductoras a electrodos para poder aplicar un campo eléctrico.

- Se conectan las entradas y salidas de las guíaondas a fibras ópticas.

20

25

30

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo reconfigurable para el guiado de una señal óptica con dos polarizaciones perpendiculares caracterizado por que comprende:
- unos medios de entrada (20) con unos primeros índices de refracción para propagar la señal óptica en una longitud de onda;
 - unos medios de salida (21) con unos segundos índices de refracción para propagar la señal óptica en la segunda longitud de onda;
 - un elemento birrefringente (7), dispuesto entre los medios de entrada y los medios de salida, que determina un primer camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares, donde dicho elemento birrefringente es conmutable entre dos estados de alineamiento asociados, cada uno de ellos, a un índice de refracción ordinario y un índice de refracción extraordinario;
 - una fuente de campo electromagnético (30, 40) aplicable al elemento birrefringente, capaz de conmutar el estado de alineamiento del elemento birrefringente, lo que determina un segundo camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica en los medios de salida, en función de los primeros índices de refracción, de los segundos índices de refracción y de los índices de refracción ordinario y extraordinario del estado de alineamiento conmutado del elemento birrefringente.
2. Dispositivo de acuerdo a la reivindicación anterior que además comprende dos sustratos (1, 8) enfrentados para soportar los medios de entrada, los medios de salida y el elemento birrefringente, donde los sustratos comprenden además un par de electrodos (2.a, 2.b) con una capa de alineamiento conectados a la fuente de campo electromagnético y formando un sandwich con el elemento birrefringente en su interior.
3. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde los medios de entrada comprenden al menos una guíaonda de entrada (4.a) y los medios de salida comprenden al menos una guíaonda de salida (4.b), donde ambas guíaondas comprenden un núcleo (4) y una cubierta superior y una cubierta inferior (3).
4. Dispositivo de acuerdo a la reivindicación 3 que comprende dos guíaondas de salida

configuradas para recibir una sola polarización de la señal óptica por cada una de ellas; donde la guíaonda de entrada está además configurada para recibir el primer camino óptico determinado por el elemento birrefringente para cada una de las dos polarizaciones de la señal óptica recibidas por las guíaondas de salida, donde el primer camino óptico para las dos polarizaciones es el mismo.

5

5. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 3,4 donde el elemento birrefringente se dispone en una cavidad (5) practicada entre los medios de entrada y de salida, donde dicha cavidad forma un cierto ángulo respecto a los medios de entrada y posee una anchura determinada que secciona completamente el núcleo de la guíaonda de entrada..

10

6. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el elemento birrefringente es un cristal liquido nemático ordinario.

15

7. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el elemento birrefringente es un cristal liquido nemático de frecuencia dual que presenta anisotropía dieléctrica positiva o negativa y conmuta entre los dos estados de alineamiento en función de la frecuencia del campo eléctrico aplicado por la fuente de campo eléctrico.

20

8. Dispositivo de acuerdo a la reivindicación 3 donde los medios de salida comprenden dos guíaondas de salida dispuestas para recibir, cada una de ellas, una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica de acuerdo al primer camino óptico asociado con un primer estado de alineamiento del elemento birrefringente, donde cuando el elemento birrefringente conmuta a un segundo estado de alineamiento, el primer camino óptico y el segundo camino óptico se intercambian.

25

9. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el elemento birrefringente tiene un índice de refracción ordinario sustancialmente igual al índice de refracción efectivo con el que se propaga un modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la señal óptica y un índice extraordinario mucho mayor que el índice de refracción efectivo con el que se propaga el modo en la guíaonda para ambas polarizaciones, y donde los medios de salida comprenden dos guíaondas

30

paralelas, donde una de ellas está alineada con una guíaonda de entrada.

- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
10. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-7 donde el elemento birrefringente y los medios de entrada y de salida se disponen tal que, según un primer estado de alineamiento, el primer camino óptico para una primera polarización de la señal óptica es guiado fuera de los medios de salida y el primer camino óptico para una segunda polarización de la señal óptica es guiado a los medios de salida, donde cuando el elemento birrefringente conmuta a un segundo estado de alineamiento, el segundo camino óptico para la primera polarización de la señal óptica es guiado a los medios de salida y el segundo camino óptico para la segunda polarización de la señal óptica es guiado fuera de los medios de salida.
 11. Dispositivo de acuerdo a la reivindicación 10 donde el elemento birrefringente tiene un índice de refracción ordinario menor que el índice de refracción efectivo con el que se propaga un modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la señal óptica y un índice extraordinario mucho mayor que el índice de refracción efectivo con el que se propaga el modo en la guíaonda para ambas polarizaciones de la señal óptica, y donde los medios de salida comprenden dos guíaondas paralelas, donde una de ellas está alineada con una guíaonda de entrada.
 12. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1-7 donde, dependiendo de la relación entre el primer índice de refracción de los medios de entrada, el segundo índice de refracción de los medios de salida y los índices ordinario y extraordinario del elemento birrefringente, el dispositivo tiene uno de los siguientes comportamientos: como polarizador/aislante de polarización, seleccionando una de las dos polarizaciones perpendiculares; como interruptor óptico, obstruyendo o permitiendo el paso de la señal óptica por los medios de salida; o como conmutador, haciendo que las polarizaciones perpendiculares de la señal óptica de entrada se intercambien en los medios de salida.
 13. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde los primeros índices de refracción de los medios de entrada y los segundos índices de refracción de los medios de salida son iguales.

14. Dispositivo de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una estructura tipo sandwich que comprende, de fuera hacia dentro, dos sustratos, dos electrodos, dos capas de conductor, una cubierta inferior, una cubierta superior, un núcleo de guíaonda entre la cubierta inferior y la cubierta superior, una cavidad que
5 atraviesa el núcleo de la guíaonda, una capa de alineamiento y un cristal liquido que rellena la cavidad.
15. Chip fotónico que comprende dos o más dispositivos de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los dispositivos están conectados en serie, en
10 paralelo o una combinación de serie y paralelo.
16. Método para el guiado de una señal óptica con dos polarizaciones perpendiculares caracterizado por que comprende los pasos de:
- 15 - recibir la señal óptica en unos medios de entrada (20) con unos primeros índices de refracción para propagar la señal óptica en una longitud de onda;
 - proporcionar un primer camino óptico para cada una de las dos polarizaciones perpendiculares de la señal óptica mediante un elemento birrefringente (7), dispuesto entre los medios de entrada y unos medios de salida (21), donde dicho elemento birrefringente es conmutable entre dos estados de alineamiento
20 asociados, cada uno de ellos, a un índice de refracción ordinario y un índice de refracción extraordinario;
 - aplicar una fuente de campo electromagnética (30, 40) al elemento birrefringente para conmutar el estado del elemento birrefringente;
 - determinar un segundo camino óptico para cada una de las dos polarizaciones
25 perpendiculares de la señal óptica en los medios de salida, en función de los primeros índices de refracción , de los segundos índices de refracción y de índices de refracción ordinario y extraordinario del estado de alineamiento conmutado del elemento birrefringente;
 - proporcionar el segundo camino óptico a cada una de las polarizaciones
30 perpendiculares de la señal óptica mediante los medios de salida con unos segundos índices de refracción para propagar la señal óptica en la longitud de onda.

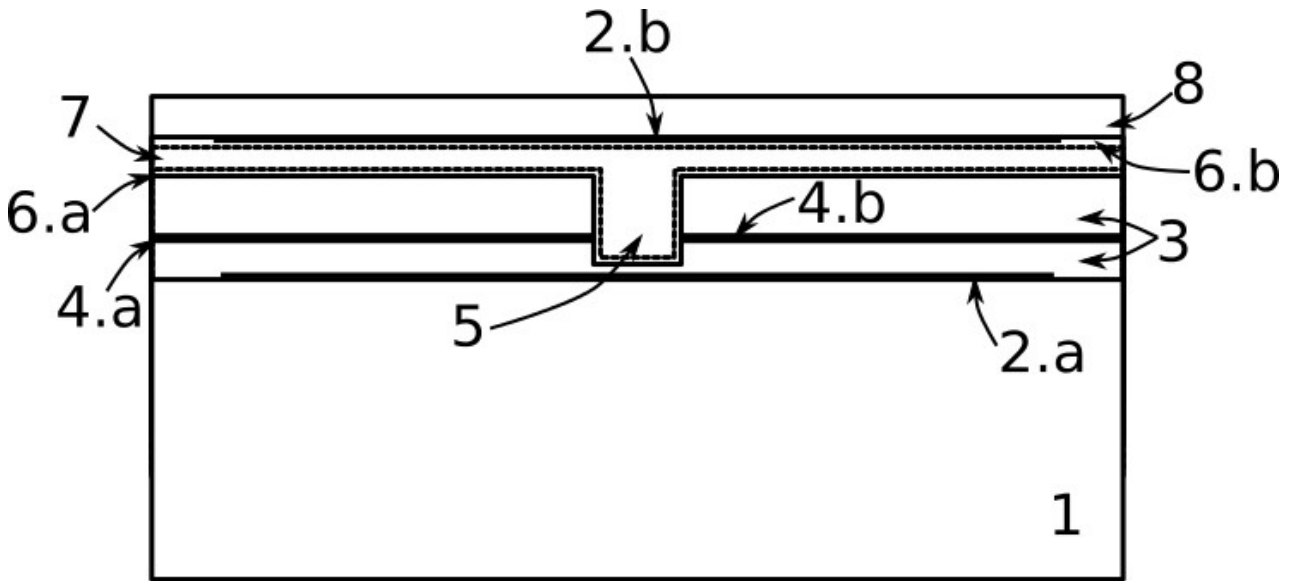


Fig. 1

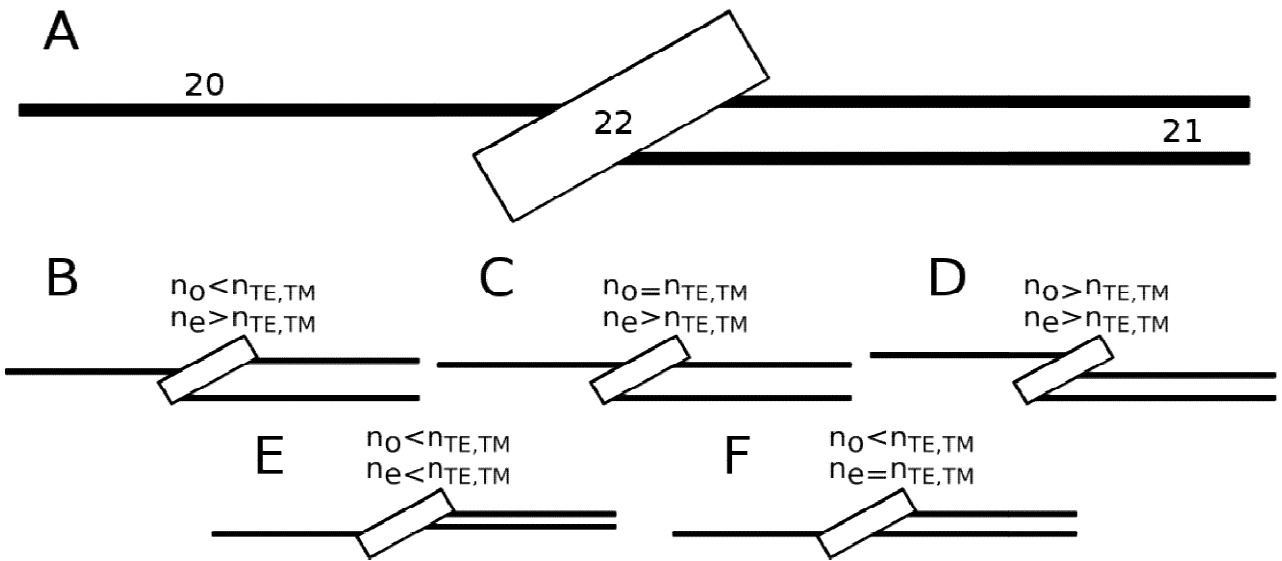


Fig. 2

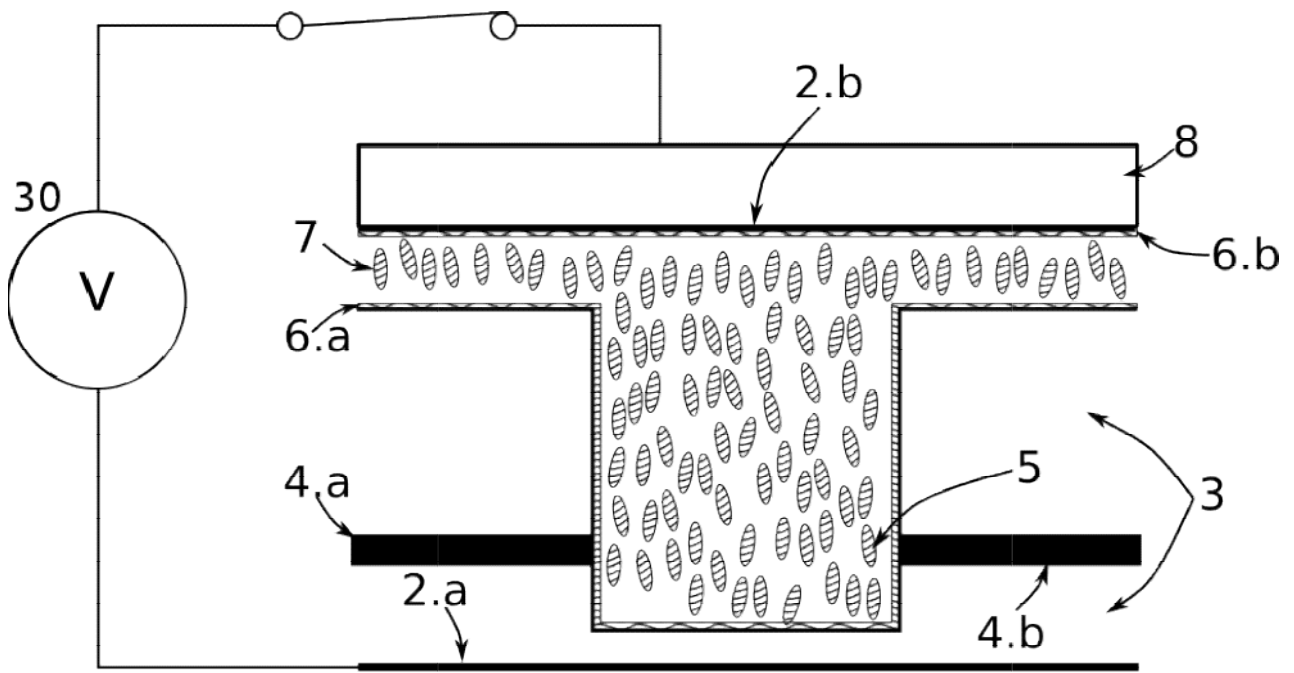


Fig. 3.A

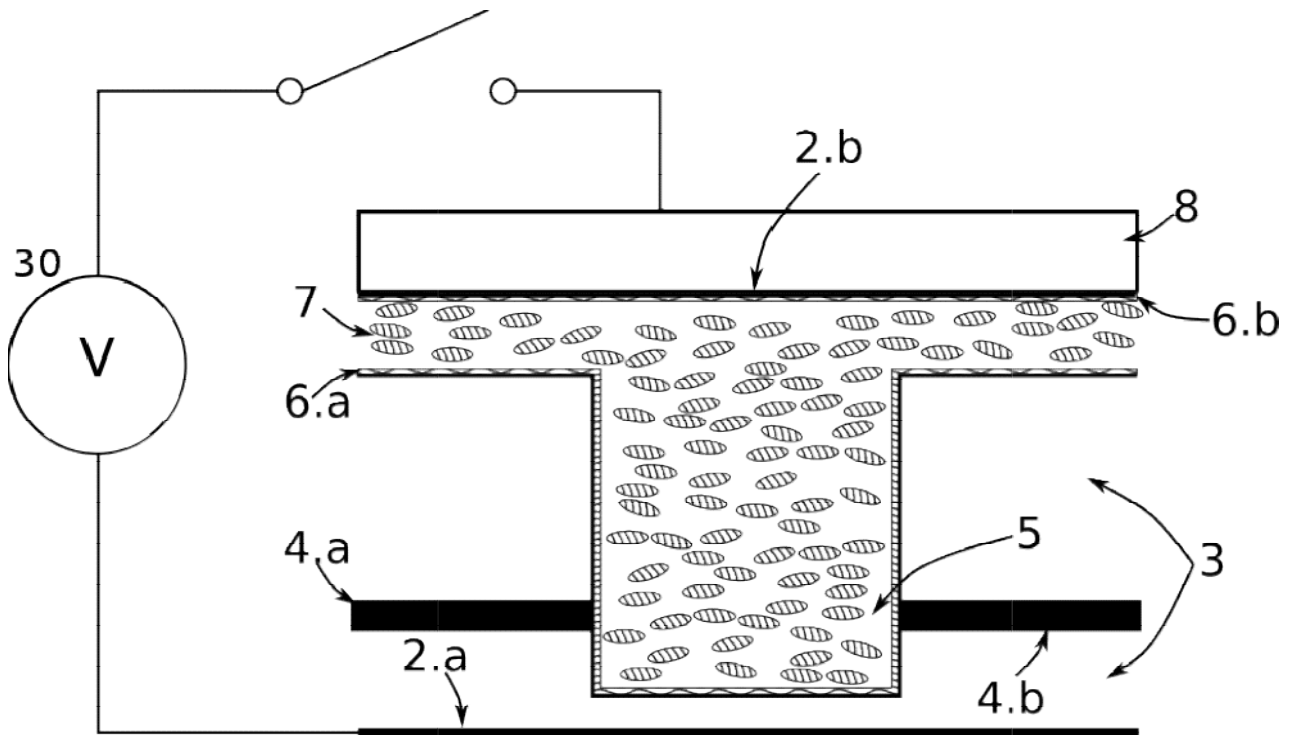


Fig. 3.B

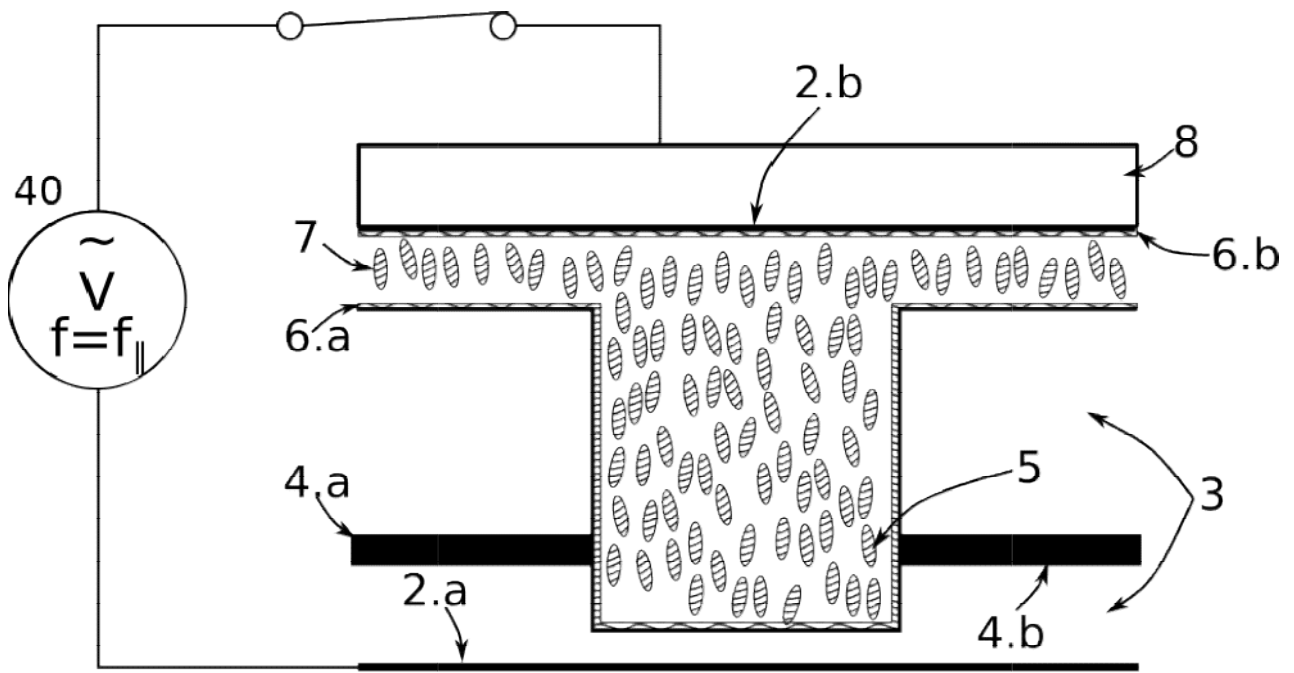


Fig. 4.A

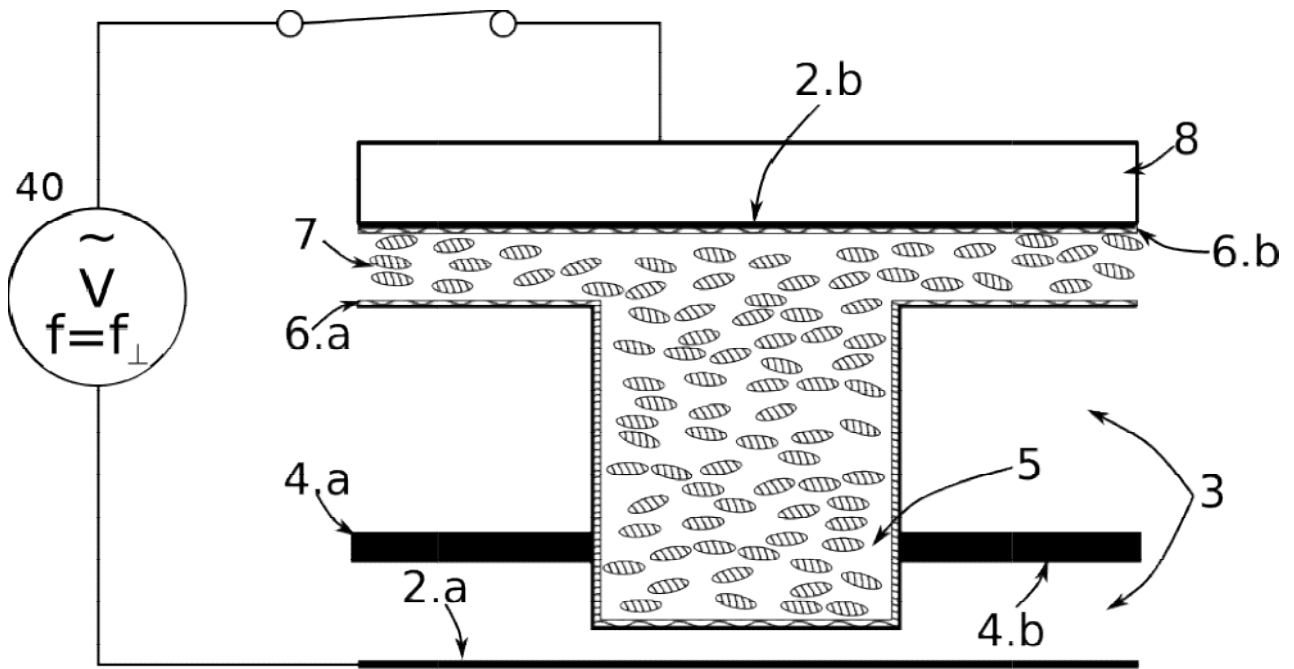


Fig. 4.B

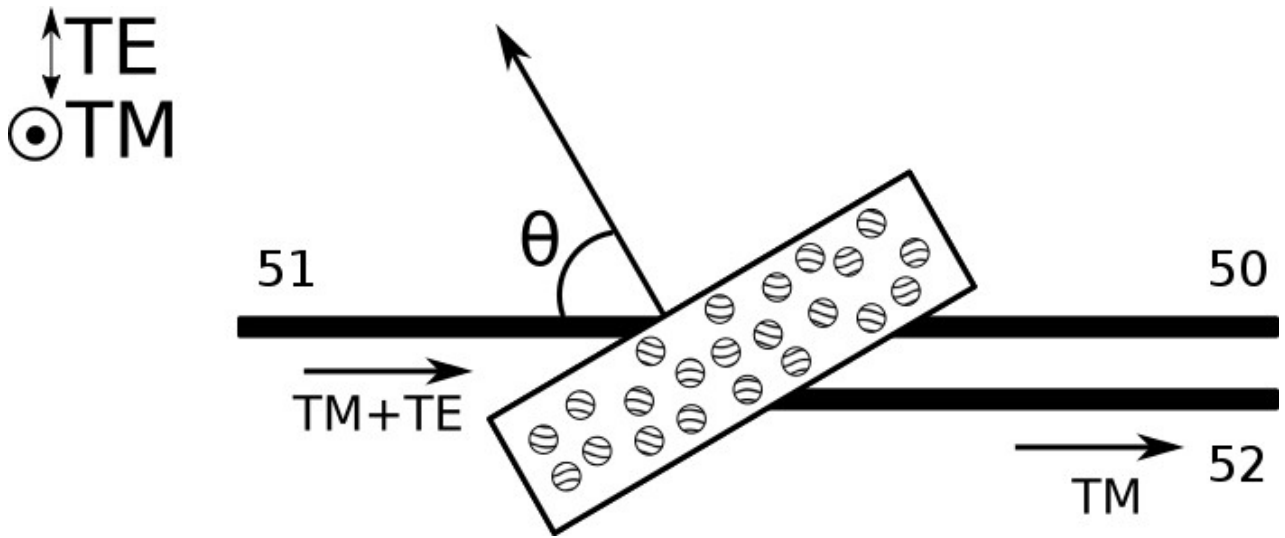


Fig. 5.A

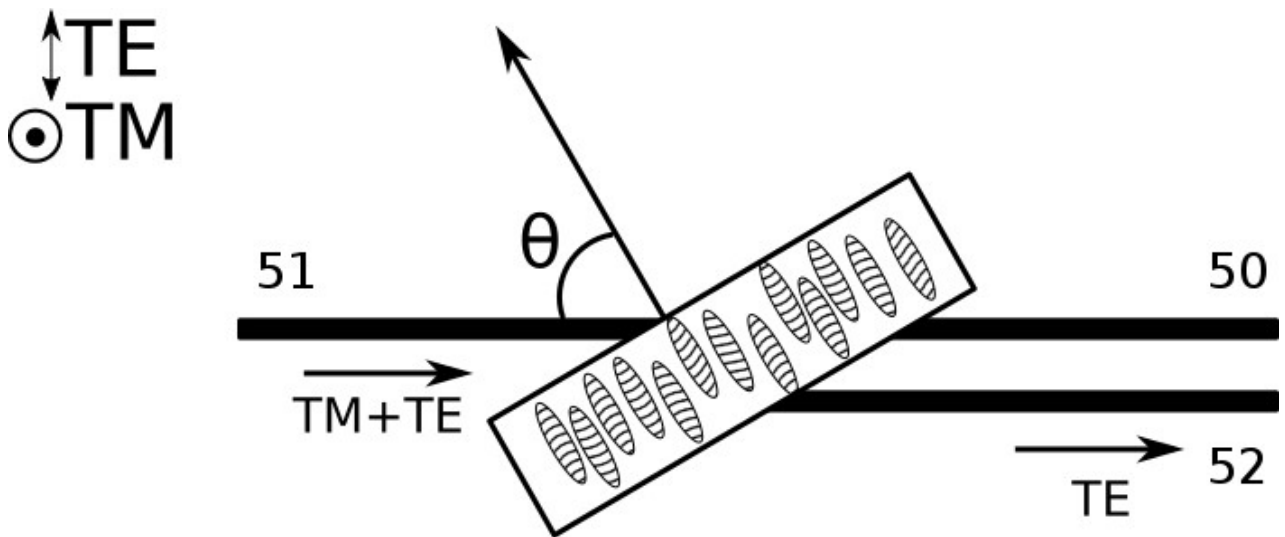


Fig. 5.B

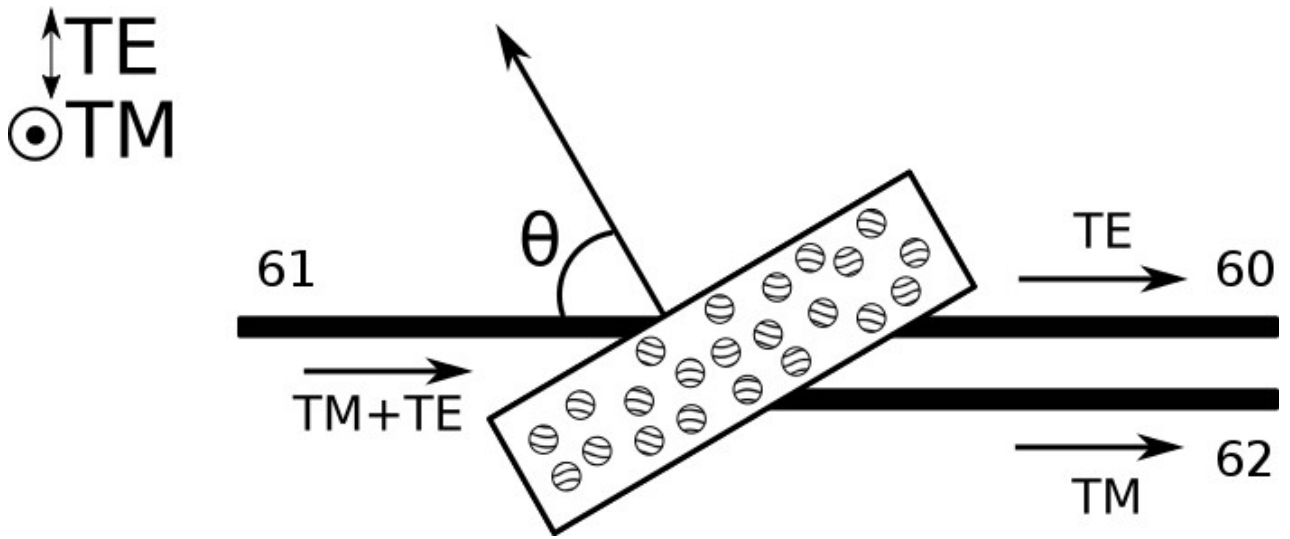


Fig. 6.A

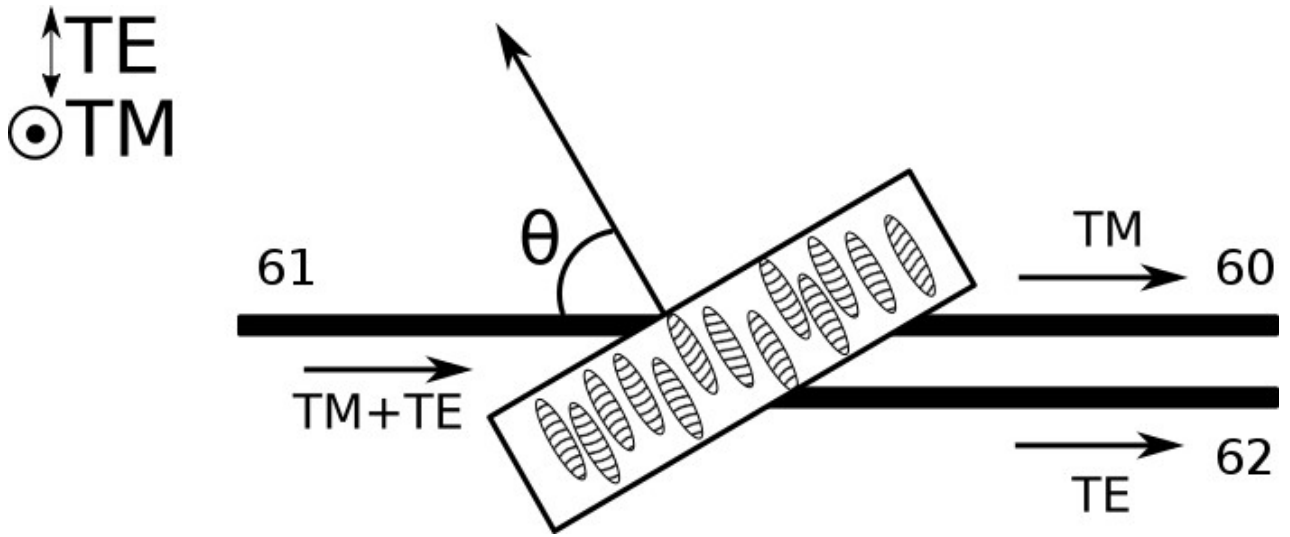


Fig. 6.B

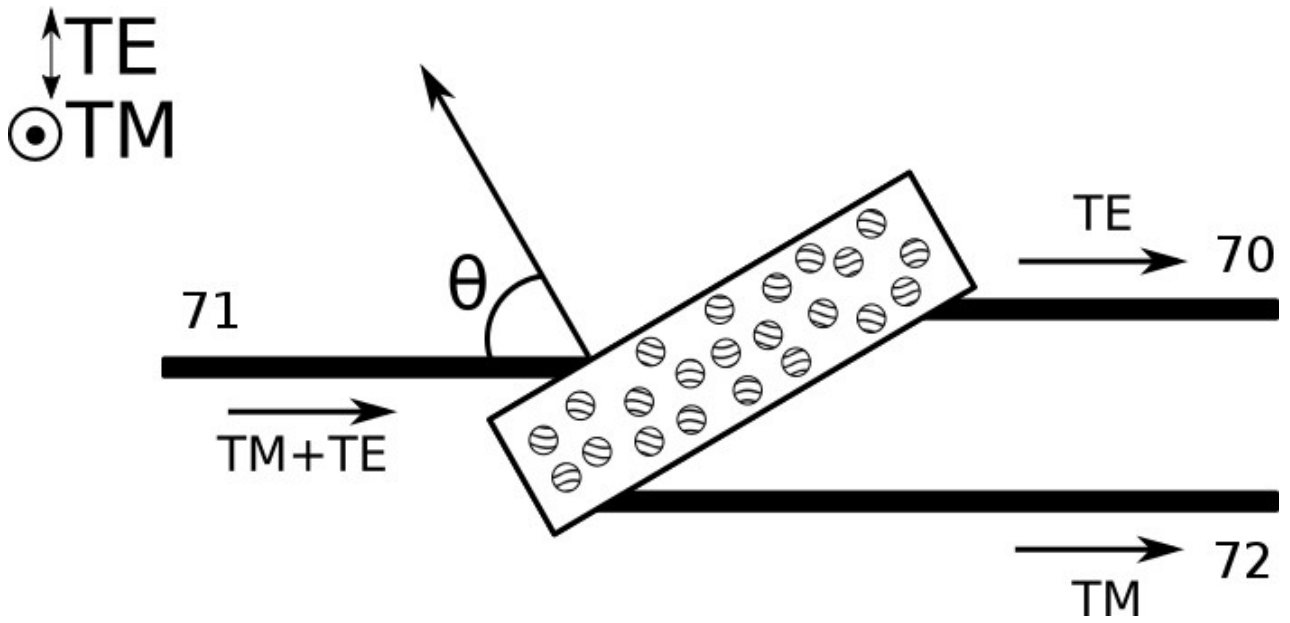


Fig. 7.A

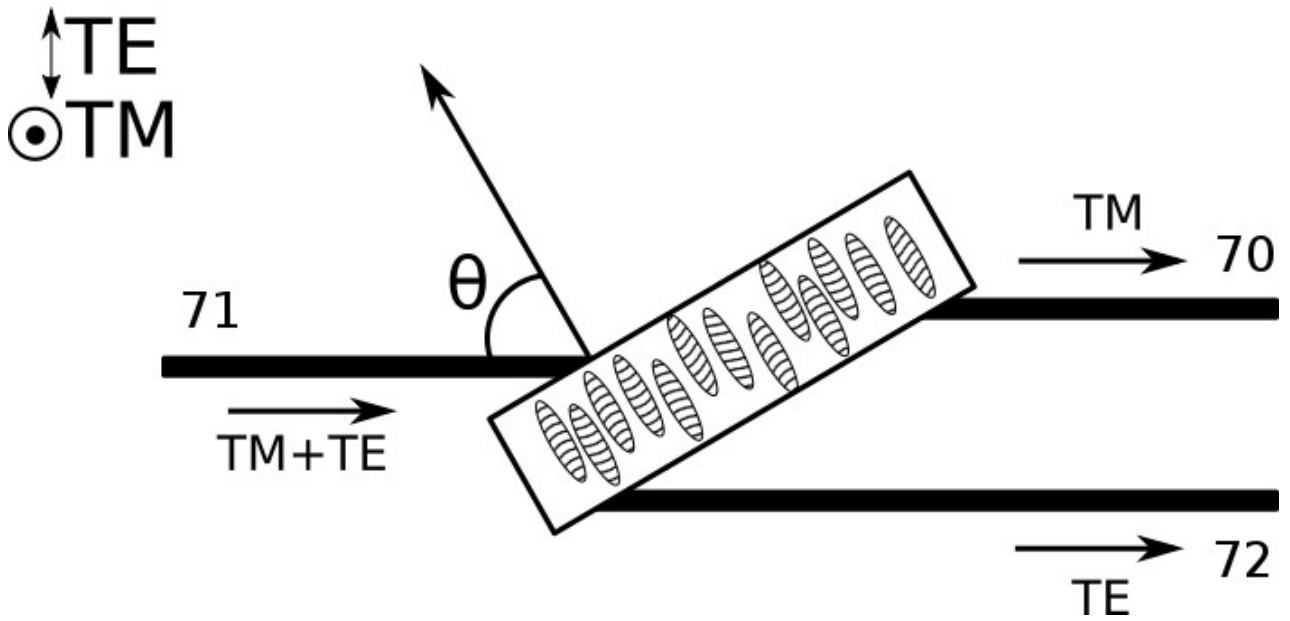


Fig. 7.B



- ②① N.º solicitud: 201830088
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 01.02.2018
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G02F1/13363** (2006.01)
G02F1/1337 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 0133289 A1 (CORNING INC) 10/05/2001, página 2, línea 2 a página 11, línea 10; figuras 1A - 10.	1-6, 8-16
A	PODOLIAK NINA; HORAK PETER. Dual-Core Optical Fiber as Beam Splitter With Arbitrary, Tunable Polarization-Dependent Transfer Function. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 20170915, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, 15/09/2017, Vol. 35, Páginas 4040 - 4046, XP011659991 <DOI: 10.1109/JLT.2017.2729939>	1-16

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
08.05.2018

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G02F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.