

## DIVISOR DE POLARIZACIÓN INTEGRADO

### DESCRIPCIÓN

#### 5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere al campo de óptica integrada, y más concretamente a un divisor de polarización.

#### 10 Antecedentes de la invención

Uno de los principales problemas presentes en el mundo de la óptica integrada es la dependencia que presentan los dispositivos fotónicos con la polarización. Así pues, la mayoría de los dispositivos diseñados actualmente son exclusivos o bien para polarización transversal eléctrica (TE) o bien para polarización transversal magnética (TM). La integración de los divisores de polarización, tan utilizados en la óptica en el espacio libre, es pues de notable interés, dado que la potencia óptica transportada por la polarización ortogonal a la de diseño actuará como interferencia si no es extraída del circuito. Diversos fenómenos, materiales y estructuras ópticas han sido propuestos con el fin de implementar dichos divisores de polarización. Entre las alternativas propuestas caben destacar las redes de difracción sublongitud de onda, los cristales fotónicos, la refracción negativa presente en dichos cristales o la birrefringencia de forma (intrínseca de los materiales). No obstante, todas estas configuraciones presentan graves problemas a la hora de ser fabricadas, ya sea por una elevada sensibilidad a desviaciones respecto a los diseños nominales, inevitables durante el proceso de fabricación, bien por requerir geometrías o elementos auxiliares que no pueden ser implementados por los procedimientos habituales de fabricación de chips fotónicos comerciales.

Una posible solución a las limitaciones de fabricabilidad mencionadas es el uso de acopladores de interferencia multimodal (MMI, del inglés "*multimode interference coupler*"). Por ejemplo, US 5,838,842 presenta un MMI para división de polarización en dispositivos integrados. El MMI presenta una región de guía de onda multimodo (más conocida por su nombre en inglés, "*slab*") en la que se generan autoimágenes de los modos transversal eléctrico (TE) y transversal magnético (TM) a distintas longitudes.

Dichas longitudes vienen determinadas por las diferencias en las constantes de propagaciones de ambos modos en la región de guía de onda multimodo. No obstante, puesto que la región de guía de onda multimodo es una guía de onda continua, las diferencias entre las constantes de propagación son pequeñas y poco controlables, resultando en dispositivos poco eficientes y que requieren elevadas distancias de propagación en la región de guía de onda multimodo, suponiendo por lo tanto un elevado tamaño total del dispositivo.

Nótese que los acopladores de interferencia multimodal (MMI) también han sido utilizados convencionalmente para la división de potencia, es decir, en lugar de separar dos polarizaciones en dos guías de onda de salida, separan parte de la potencia de una única polarización en dos o más guías de onda de salida. Las prestaciones de los MMI como divisores de potencia, y en particular sus pérdidas y su ancho de banda, han sido mejorados mediante el uso de estructuras sublongitud de onda (SWG, del inglés "*Sub-Wavelength grating*"), como se presenta en ES 2,379,058. Nótese que las estructuras SWG de dicho divisor de potencia, además de ser perpendiculares a las guías de onda de entrada y salida, están diseñadas para operar en un amplio ancho de banda a una única polarización. Es decir, los parámetros geométricos de dicha estructura SWG están seleccionados de forma que se optimiza el ancho de banda del dispositivo a una polarización, siendo el dispositivo inoperativo a la polarización ortogonal. En particular, la birrefringencia de la región de guía de onda multimodo implica longitudes de batido distintas para las polarizaciones TE y TM, por lo que las posiciones del MMI en las que se verifica la división de potencia son distintas para cada polarización, impidiendo su extracción conjunta. Es decir, en este tipo de dispositivos, la birefringencia y la anisotropía de la estructura SWG no son controlables durante diseño, sino que son consecuencia de sus parámetros geométricos.

Los acopladores de interferencia multimodal (MMI) también han sido utilizados como multiplexadores de longitud de onda, mediante la incorporación de un filtro óptico anisótropo, en el centro de dicho MMI, tal y como se presenta en US 6,445,849. Nótese que, en este caso, además de que el dispositivo opera a una única polarización, siendo la otra polarización inutilizable, la estructura anisótropa del MMI es un elemento externo implementado con otro material distinto al del núcleo y al de la cobertura, y con una geometría que impide su disposición de acuerdo con los métodos

de fabricación habituales de dichos núcleo y cobertura, lo que dificulta la fabricación e integración del dispositivo.

En definitiva, si bien los dispositivos MMI han sido utilizados con éxito para diversas funcionalidades, sus prestaciones como divisores de polarización, así como las prestaciones del resto de divisores de polarización integrados conocidos hasta la fecha presentan diversas desventajas, como son el elevado tamaño de dispositivo, baja eficiencia, altas pérdidas, el escaso ancho de banda o la complejidad de fabricación. Existe por lo tanto en el estado de la técnica la necesidad de un divisor de polarización integrado compacto, eficiente, con elevado ancho de banda y de fácil fabricación.

### Descripción de la invención

La presente invención soluciona los problemas anteriormente descritos mediante un divisor de polarización basado en un acoplador de interferencia multimodo con una región de guía multimodo anisótropa SWG, es decir, una región formada por una disposición alterna de secciones de un material de núcleo y secciones de un material de cobertura, con un periodo menor que la longitud de onda de una luz propagada por dicha región anisótropa, en la que dicha anisotropía se ajusta mediante giro de las secciones alternas. Nótese que la estructura SWG descrita no supone ningún incremento en la dificultad ni en el número de pasos del proceso de fabricación. Es decir, el divisor de polarización de la invención puede integrarse junto con cualquier otra combinación de dispositivos en un chip fotónico, pudiendo ser fabricado durante el mismo paso de exposición que el resto de dichos dispositivos (al contrario que otros divisores de polarización que requieren múltiples profundidades de grabación, paredes inclinadas, materiales adicionales, etc).

El dispositivo, preferentemente implementado en silicio sobre aislante (SOI, del inglés "*Silicon on insulator*"), comprende una guía de onda de entrada que recibe un modo transversal eléctrico (TE) y un modo transversal magnético (TM), y dos guías de salida que transmiten por separado dichos modos. Controlando las propiedades anisótropas de las estructuras SWG a través de su ángulo de giro respecto al eje óptico, se consigue generar una autoimagen Talbot inversa del modo transversal eléctrico (TE) a una primera distancia ( $L_{TE}$ ) correspondiente a aproximadamente tres veces una longitud de batido de dicho modo TE ( $L_{\pi TE}$ ); y una autoimagen Talbot inversa del modo

transversal magnético (TM) a una segunda distancia ( $L_{TM}$ ), correspondiente a aproximadamente tres veces una longitud de batido de dicho modo TE ( $L_{\pi TM}$ ). Nótese que se entiende por autoimagen Talbot directa aquella posición en la que los modos propagados por la región de interferencia multimodal del MMI interfieren constructivamente en un máximo alineado con la guía de onda de entrada. De manera equivalente, en la autoimagen Talbot inversa, la interferencia multimodal resulta en un máximo desplazado transversalmente respecto a la guía de onda de entrada.

Los parámetros geométricos de la estructura SWG del MMI de la invención se seleccionan mediante optimización por simulación fotónica, imponiendo que la longitud de batido del modo TM ( $L_{\pi TM}$ ) sea un número entero de veces mayor que la longitud de batido del modo TE ( $L_{\pi TE}$ ) preferentemente, el doble. Con el fin de optimizar la focalización de las autoimágenes de los modos TE y TM en la primera guía de onda de salida (imagen directa) y la segunda guía de onda de salida (imagen inversa) respectivamente, la longitud total del acoplador de interferencia multimodo es preferentemente aproximadamente tres veces mayor que  $L_{\pi TM}$  y seis que  $L_{\pi TE}$ . Nótese que el control sobre la anisotropía proporcionado por la rotación de las estructuras SWG aumenta el grado de libertad a la hora de seleccionar el factor de proporcionalidad entre las distancias de focalización de las autoimágenes de los modos TE y TM, resultando en un dispositivo más compacto y de menores pérdidas que aquellos MMI en los que no existe dicha rotación. Asimismo, nótese que si bien otros parámetros geométricos SWG como el periodo o el factor de llenado pueden afectar a la anisotropía resultante, dicho efecto es significativamente menor que el producido por la rotación, limitando por lo tanto las prestaciones obtenibles por el divisor. Además, nótese que, al contrario que dichos parámetros (periodo y factor de llenado) el ángulo de giro no afecta al tamaño mínimo de rasgo del dispositivo (del inglés "*minimum feature size*") y por lo tanto no afecta a su dificultad de fabricación.

La estructura SWG del acoplador de interferencia multimodo está rotada un ángulo ( $\alpha$ ) mayor de cero, para controlar el comportamiento anisótropo, pudiendo controlar independientemente las distancias de focalización de las autoimágenes Talbot, y reduciendo así la longitud del dispositivo (es decir, la dimensión del dispositivo en la dirección principal de propagación, también denominada eje óptico). Es decir, los interfaces entre la pluralidad de secciones del material de núcleo y la pluralidad de secciones del material de cobertura forman un ángulo ( $\alpha$ ) mayor de cero con un plano

perpendicular al eje óptico del dispositivo, estando dicho eje óptico definido por la dirección común de la guía de onda de entrada, la primera guía de onda de salida y la segunda guía de onda de salida. Nótese que el ángulo exacto en el que se optimiza ( $\alpha$ ) la respuesta del dispositivo depende del resto de parámetros geométricos del MMI (anchura, altura, material de cobertura, periodo y factor de llenado), determinándose mediante las simulaciones fotónicas correspondientes.

Nótese que en MMIs convencionales, el número entero que establece la proporcionalidad entre las longitudes de batido debe escogerse en un rango limitado por los parámetros físicos del dispositivo, típicamente igual o mayor de 5. El control de las propiedades anisótropas de la estructura SWG de la presente invención permite fijar dicho número entero a dos, y ajustar las longitudes de batido de los modos TE y TM mediante selección del ángulo ( $\alpha$ ) para que cumplan dicha relación de proporcionalidad, resultando en una notable reducción del tamaño total del dispositivo.

De acuerdo con sendas opciones preferentes, las secciones de material de núcleo pueden bien ser continuas, bien estar divididas en dos o más partes por un hueco (habitualmente conocido por su nombre en inglés "*gap*"), relleno o completado por el material de cobertura. Asimismo, dependiendo de la implementación particular del MMI, las características geométricas de la región SWG pueden mantenerse constantes a lo largo de todo el dispositivo, o modificarse a lo largo del mismo, ya sea de forma gradual o escalonada. También de acuerdo con sendas opciones preferentes, la guía de onda de entrada, la primera guía de onda de salida y/o la segunda guía de onda de salida pueden bien estar dispuestas perpendicularmente al interfaz del MMI, bien presentar un ángulo no perpendicular con dicho interfaz.

Con el fin de optimizar las pérdidas de inserción en la transición entre guías monomodo y la región multimodo del MMI, el dispositivo comprende un primer adaptador modal conectado a la guía de onda de entrada, un segundo adaptador modal conectado a la primera guía de onda de salida y un tercer adaptador modal conectado a la segunda guía de onda de salida. Los adaptadores modales comprenden estructuras SWG de anchura variable, preferentemente con un puente central de anchura inversamente proporcional a la anchura del adaptador. Asimismo, las estructuras SWG de los adaptadores presentan preferentemente una rotación progresiva entre una dirección perpendicular a la guía de onda y el ángulo ( $\alpha$ ).

Si bien el ángulo ( $\alpha$ ) óptimo depende de los materiales utilizados y del resto de parámetros geométricos de la estructura SWG (por ejemplo de la altura, anchura, periodo y/o factor de llenado), para un ejemplo en silicio sobre aislante con una altura  
5 de 0.26 micras, un periodo de 0.22 micras y un factor de llenado de 0.5, el ángulo ( $\alpha$ ) se encuentra preferentemente comprendido en un intervalo entre 5° y 25°, y más preferentemente, entre 10° y 20°. No obstante, de manera general, el ángulo ( $\alpha$ ) se selecciona durante el diseño del dispositivo mediante simulación fotónica de modo que se minimizan la primera ( $L_{TE}$ ) y la segunda distancia ( $L_{TM}$ ), siempre manteniendo la  
10 relación de proporcionalidad entre ambas.

El dispositivo descrito proporciona por lo tanto un divisor de polarización compacto, de bajas pérdidas y elevado ancho de banda, fabricable en un único paso de litografía. Es decir, la mejora de prestaciones no lleva asociada ningún aumento de la complejidad  
15 de fabricación. Éstas y otras ventajas de la invención serán aparentes a la luz de la descripción detallada de la misma.

#### Descripción de las figuras

20 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

25 La Figura 1 muestra un acoplador de interferencia multimodo con secciones rotadas, de acuerdo con una realización preferente de la invención.

La Figura 2 ilustra los principales parámetros geométricos de una estructura sublongitud de onda.  
30

La figura 3 ejemplifica el funcionamiento de la propagación de haces ordinarios y extraordinarios en una estructura anisótropa.

La figura 4 ilustra el efecto del ángulo de giro sobre las propiedades anisótropas de  
35 una estructura SWG.

### Realización preferente de la invención

Nótese que la invención está descrita con el dispositivo operando como divisor de polarización. No obstante, el mismo dispositivo puede operar de manera recíproca  
5 como multiplexor de polarización, es decir, combinando dos señales de polarizaciones ortogonales de dos guías de entrada en una única guía de salida, simplemente invirtiendo la dirección de operación del dispositivo.

También debe notarse que el divisor de polarización objeto de la invención se  
10 implementa preferentemente en silicio sobre aislante (SOI) para así beneficiarse del alto contraste de índice de SOI, sin embargo, realizaciones particulares podrían implementarse en otras plataformas fotónicas diferentes. Es decir, todas las guías de onda del dispositivo se realizan preferentemente mediante un núcleo de silicio, depositado sobre una capa aislante como, por ejemplo, dióxido de silicio. El material  
15 de la cobertura puede variar para diferentes realizaciones de la invención, siendo algunas de las posibilidades dióxido de silicio, polímeros o aire, sin que esta lista limite el uso de otras posibles opciones.

En cuanto a la fabricación de los dispositivos propuestos, nótese que las estructuras  
20 sublongitud de onda (SWG), independientemente de su ángulo de giro respecto al eje óptico, no incrementan la dificultad ni el número de pasos respecto a la fabricación de guías de onda convencionales. Es decir, todas las estructuras utilizadas por el divisor de polarización de la invención pueden fabricarse mediante un único paso de exposición a profundidad completa de cualquier técnica de grabación microelectrónica  
25 convencional, como por ejemplo, mediante exposición a haz de electrones ("*e-beam*" en inglés) o a ultravioleta profundo ("*deep-UV*" en inglés).

La figura 1 muestra una primera realización preferente de la invención, basada en un acoplador de interferencia multimodo (110), más concretamente un acoplador de  
30 interferencia multimodo (110) dotado de estructuras sublongitud de onda (SWG) cuya región de guía multimodo presenta características anisótropas generadas por una disposición periódica de secciones de un material de núcleo (210) y secciones de un material de cobertura (230), con un periodo ( $\Lambda$ ) menor que la longitud de onda de una luz propagada por dicha región anisótropa. El divisor de polarización de la invención  
35 comprende además una guía de onda de entrada (120) que recibe el modo transversal

eléctrico (TE) y el modo transversal magnético (TM), una primera guía de onda de salida (130) destinada a transmitir el modo transversal eléctrico (TE) y una segunda guía de onda de salida (140) destinada a transmitir el modo transversal magnético (TM). La guía de entrada (130) se encuentra ubicada en un extremo de la región anisótropa del acoplador de interferencia multimodo (110) SWG, enfrentada a la primera guía de onda de salida (130), que se encuentra ubicada en el extremo opuesto del acoplador de interferencia multimodo (110) SWG; mientras que la segunda guía de onda de salida (140) también se encuentra ubicada en dicho extremo opuesto del acoplador de interferencia multimodo (110), separada lateralmente de la primera guía de onda de salida (130).

Con el fin de reducir las pérdidas por reflexión en los interfaces del acoplador de interferencia multimodo (110), el divisor de polarización comprende un primer adaptador modal (121) conectado a la guía de onda de entrada (120), un segundo adaptador modal (131) conectado a la primera guía de onda de salida (130) y un tercer adaptador modal (141) conectado a la segunda guía de onda de salida (140). El primer adaptador modal (121), el segundo adaptador modal (131) y el tercer adaptador modal (141) presentan estructuras SWG con el mismo periodo ( $\Lambda$ ) y ciclo de trabajo ( $f$ ) que el acoplador de interferencia multimodo (110), mientras que su anchura varía progresivamente desde la anchura de una guía de onda monomodo hasta una anchura final de adaptador modal, preferentemente mayor que la anchura de guía de onda monomodo por lo que, de manera preferente, las estructuras SWG presentan una anchura incremental. El primer adaptador modal (121), el segundo adaptador modal (131) y el tercer adaptador modal (141) comprenden asimismo un puente central, esto es, un pequeño conector de material del núcleo (210) en el centro de las secciones de material de cobertura (230). La anchura del puente central disminuye a medida que el ancho total del respectivo del adaptador modal (121, 131, 141) aumenta, desapareciendo completamente en el interfaz con la región multimodo del acoplador de interferencia multimodo (110). Nótese que la geometría específica del adaptador modal (130) puede variar entre implementaciones siempre que se garantice una transición modal suave, minimizando reflexiones en los interfaces entre el acoplador de interferencia multimodo (110), la guía de onda de entrada (120), la primera guía de onda de salida (130) y la segunda guía de onda de salida (140).

La figura 2 muestra en más detalle los principales parámetros de cualquier estructura

SWG, los cuales se pueden ajustar mediante simulaciones fotónicas para hacer ingeniería del índice de refracción y de la dispersión. Concretamente, dichos parámetros SWG incluyen la anchura de la guía de onda ( $W$ ), la altura de la guía de onda ( $H$ ), el periodo ( $\Lambda$ ) y el ciclo de trabajo ( $f$ ). El ciclo de trabajo (del inglés "*duty cycle*"), también conocido como factor de llenado (del inglés "*fill factor*"), es la relación entre una longitud ( $a$ ) de la sección de material de núcleo (210) y una longitud ( $b$ ) de la sección de material de cobertura (230), dentro de un periodo ( $\Lambda$ ). Tanto las secciones de material de núcleo (210) como las secciones de material de cobertura (230), se disponen sobre al menos una capa de material aislante (220).

10

La figura 3 ilustra esquemáticamente el comportamiento de cualquier material anisótropo (300), aplicable a la comprensión de la región de guía multimodo anisótropa del acoplador de interferencia multimodo (110) de la invención. Cuando un haz incidente (310) llega a un interfaz con el material anisótropo (300) con un ángulo de incidencia ( $\Phi_i$ ), una parte de la potencia óptica se refleja, generando un único haz reflejado (320) convencional, con un ángulo de reflexión ( $\Phi_r$ ). Sin embargo, la potencia transmitida al material anisótropo (300) no da lugar a un único haz, como ocurre en materiales isótropos convencionales, sino que genera dos haces con distinto ángulo: un haz ordinario (330) con polarización paralela al interfaz (es decir, polarización TE), y un primer ángulo de transmisión ( $\Phi_{TE}$ ); y un haz extraordinario (340) con polarización perpendicular al interfaz (es decir, polarización TM), y un segundo ángulo de transmisión ( $\Phi_{TM}$ ). La diferencia entre el primer ángulo de transmisión ( $\Phi_{TE}$ ) y el segundo ángulo de transmisión ( $\Phi_{TM}$ ), así como la diferencia de índice efectivo percibida por los dos modos, son utilizadas en la región de guía multimodo anisótropa del acoplador de interferencia multimodo (110) de la invención para seleccionar la relación de proporcionalidad entre las distancias a las que se generan las auto-imágenes Talbot de los modos.

Es decir, la región anisótropa SWG del acoplador de interferencia multimodo (110) genera una autoimagen Talbot del modo transversal eléctrico (TE) a una primera distancia ( $L_{TE}$ ), y una autoimagen Talbot del modo transversal magnético (TM) a una segunda distancia ( $L_{TM}$ ). Seleccionando mediante simulación fotónica los parámetros geométricos de la estructura SWG de dicho acoplador de interferencia multimodo (110), es decir, la altura de la guía de onda ( $H$ ), el periodo ( $\Lambda$ ) y el ciclo de trabajo ( $f$ ), se consigue que la segunda distancia ( $L_{TM}$ ) sea un número entero de veces mayor que

35

la primera distancia ( $L_{TE}$ ), en este ejemplo preferente de realización, la segunda distancia ( $L_{TM}$ ) puede ser aproximadamente dos veces mayor que la primera distancia ( $L_{TE}$ ). Imponiendo una longitud total del acoplador de interferencia multimodo (110) un número entero de veces mayor que la segunda distancia ( $L_{TM}$ ), se consigue focalizar el modo TE en la primera guía de onda de salida (130) y el modo TM en la segunda guía de onda de salida (140). Además, cuanto mayor sea el comportamiento anisótropo del material, más dispar será la relación entre la primera distancia ( $L_{TE}$ ) y la segunda distancia ( $L_{TM}$ ), y por lo tanto, más compacto será el acoplador de interferencia multimodo (110) resultante.

10

El comportamiento anisótropo del acoplador de interferencia multimodo (110) de la invención (es decir, la diferencia entre los índices de refracción efectivos para los modos TE y TM de orden 0 y orden 1), se puede controlar mediante rotación de la estructura SWG de la región anisótropa un ángulo ( $\alpha$ ). Es decir, unos interfaces entre la pluralidad de secciones del material de núcleo (210) y la pluralidad de secciones del material de cobertura (230), forman un ángulo ( $\alpha$ ) mayor de cero con un plano perpendicular al eje óptico del sistema, es decir, al eje definido por la dirección de la guía de onda de entrada (120), la primera guía de onda de salida (130) y la segunda guía de onda de salida (140) a su entrada al acoplador de interferencia multimodo (110). La selección de un ángulo ( $\alpha$ ) mayor que cero permite ajustar las longitudes de batido de los modos TE y TM para que sean proporcionales en un factor doble, optimizando así la longitud del acoplador de interferencia multimodo (110).

Nótese que, en realizaciones alternativas de la invención, la guía de onda de entrada (120), la primera guía de onda de salida (130) y la segunda guía de onda de salida (140) pueden presentar ángulos diferentes de  $90^\circ$  en su interfaz con el acoplador de interferencia multimodo (110). Es decir, en el dispositivo de la figura 4, el ángulo de incidencia ( $\Phi_i$ ) con el medio anisótropo es de  $0^\circ$ , correspondiente a una incidencia perpendicular. No obstante, en otras realizaciones, dicho ángulo de incidencia ( $\Phi_i$ ) puede aumentarse girando la guía de onda de entrada (120), modificando así el primer ángulo de transmisión ( $\Phi_{TE}$ ) y el segundo ángulo de transmisión ( $\Phi_{TM}$ ). Al modificar dichos ángulos, se modifican también la primera distancia ( $L_{TE}$ ) y la segunda distancia ( $L_{TM}$ ) a la que se generan las autoimágenes de Talbot, pudiendo reducir por lo tanto el tamaño del dispositivo resultante.

35

- Asimismo, es posible implementar la región anisótropa SWG del acoplador de interferencia multimodo (110) incluyendo uno o más huecos (del inglés "gap"), en las secciones del material de núcleo (210), quedando dichos huecos rellenos por el material de cobertura (230). Por ejemplo, en una realización preferente, cada sección
- 5 de secciones de material de núcleo (210) mostrada esquemáticamente en las figuras 1 y 4 puede dividirse en dos secciones, separadas por un hueco central relleno por el material de cobertura (230). El número y disposición de dichos huecos puede variar entre implementaciones.
- 10 Independientemente de la geometría particular del acoplador de interferencia multimodo (110), cuando está rotada la estructura SWG de la región anisótropa un ángulo ( $\alpha$ ), es recomendable modificar el primer adaptador modal (121), el segundo adaptador modal (131) y el tercer adaptador modal (141), respecto al caso de la estructura SWG perpendicular mostrado en la figura 1, con el fin de optimizar las
- 15 transiciones entre dicho acoplador de interferencia multimodo (110), la guía de onda de entrada (120), la primera guía de onda de salida (130) y la segunda guía de onda de salida (140). Para ello, dichos primer adaptador modal (121), segundo adaptador modal (131) y tercer adaptador modal (141), comprenden estructuras SWG rotadas progresivamente entre 0° en el extremo más alejado del acoplador de interferencia
- 20 multimodo (110), y el ángulo ( $\alpha$ ) en el extremo en contacto con dicho acoplador de interferencia multimodo (110).

El diseño del dispositivo se realiza preferentemente mediante un proceso de simulación fotónica en dos etapas. En una primera etapa, se obtiene una primera

25 aproximación del diseño mediante simulación de la estructura SWG como un material homogéneo y anisótropo. El material anisótropo utilizado se define a través de un tensor dieléctrico, obtenido mediante aproximaciones de Rytov para los índices efectivos del rayo ordinario (330) y el rayo extraordinario (340). En particular, se selecciona preferentemente una zona multimodal de un ancho inicial

30 aproximadamente tres veces superior al del adaptador modal y una altura de guía de onda (H) definida por la plataforma fotónica sobre la que se implementa el dispositivo. Fijando estos parámetros de partida, se realizan simulaciones fotónicas para un barrido de ángulos ( $\alpha$ ) de giro, modelando así la evolución de las propiedades anisótropas del MMI para el caso particular de aplicación del dispositivo. Esta primera

35 aproximación permite realizar simulaciones en tres dimensiones reduciendo el tiempo

y coste computacional de simulación. Si bien se recomienda el uso de alturas de guías de onda de 260 nm para favorecer el confinamiento del modo transversal magnético (TM), nótese que el dispositivo de la invención puede adaptarse a otras alturas de la guía de onda (H).

5

Una vez modeladas las propiedades anisótropas a distintos ángulos para la geometría y plataforma particulares bajo análisis, dicho modelado se aplica a una primera optimización mediante barrido de diversos parámetros como son la anchura de la zona multimodal, el ciclo de trabajo de la correspondiente estructura SWG real o la longitud  
10 del divisor de polarización. Dicho primer proceso de optimización se realiza ejecutando barridos de los parámetros mencionados e imponiendo como objetivos la minimización de pérdidas de inserción totales, así como la verificación de un factor de proporcionalidad lo más cercano posible a 2 entre las longitudes de batido de los modos transversal eléctrico (TE) y transversal magnético (TM). Como resultado de  
15 esta optimización, se obtiene una aproximación de los parámetros de diseño iniciales (ángulo, anchura de la zona multimodal, periodo, ciclo de trabajo y longitud de dispositivo).

A partir de los parámetros de diseño obtenidos en la primera etapa, se procede al  
20 modelado físico de la estructura SWG completa (sin aproximaciones a medio homogéneo) que nos proporciona el diseño final del divisor de polarización. Si bien este proceso puede realizarse manteniendo los grados de libertad de todos los parámetros de diseño, se recomienda simplificar este segundo proceso de optimización para reducir la carga computacional del mismo, fijando la anchura de la  
25 zona multimodal (por ejemplo en 4 micras), el ciclo de trabajo (por ejemplo 0,5 para simplificar la fabricación), y el periodo (siempre imponiendo que dicho periodo quede fuera del régimen de Bragg, determinado por la relación de proporcionalidad entre el periodo de la estructura SWG; y la longitud de onda efectiva de la luz propagada por dicha estructura).

30

A continuación, se optimiza la multiplicidad entre longitudes de batido mediante ajuste fino (es decir, mediante barridos de menor variabilidad que en la primera etapa) del ángulo de giro y el número de periodos (y en caso de no haberse fijado según la recomendación del paso anterior, del ciclo de trabajo, la anchura de la zona  
35 multimodal, y/o el periodo SWG). Como objetivo de esta optimización, se impone una

minimización de la desviación de la longitud de batido del modo transversal magnético respecto al doble de la longitud de batido del modo transversal eléctrico. Este segundo proceso de optimización se realiza preferentemente utilizando métodos tridimensionales de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD, del inglés

5 *'Finite difference time domain method'*), si bien otras técnicas de computación fotónica pueden ser igualmente aplicadas al mismo.

Si bien el efecto exacto del giro de la estructura SWG depende de las propiedades de los materiales que la componen, así como del resto de sus parámetros geométricos, la

10 figura 4, ejemplifica este efecto para el caso de una estructura SWG de silicio sobre aislante con una altura de guía de onda de 260 nm, una anchura de 4 micras, un periodo de 220 nm y un factor de llenado de 0.5, para una longitud de onda de 1550 nm. La figura 4a muestra los índices de refracción efectivos ( $n_{\text{eff}}$ ) en función del ángulo ( $\alpha$ ) para un modo TE de orden 0 (TE0) y para un modo TE de orden 1 (TE1). La figura

15 4b muestra los índices de refracción efectivos ( $n_{\text{eff}}$ ) en función del ángulo ( $\alpha$ ) para un modo TM de orden 0 (TM0) y para un modo TM de orden 1 (TM1). Nótese que un aumento del ángulo de giro ( $\alpha$ ) reduce los índices efectivos ( $n_{\text{eff}}$ ) de los modos TE0 y TE1, y aumenta los índices efectivos ( $n_{\text{eff}}$ ) de los modos TM0 y TM1, siendo además el efecto sobre la polarización TE significativamente mayor que sobre la polarización TM.