

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 536**

51 Int. Cl.:  
**G02B 6/255** (2006.01)  
**G02B 6/32** (2006.01)  
**G02B 6/26** (2006.01)  
**G02B 6/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08788639 .6**  
96 Fecha de presentación: **06.08.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2183625**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.05.2010**

54 Título: **MEJORAS RELACIONADAS CON GUIAONDAS DE CRISTAL FOTÓNICO.**

30 Prioridad:  
**10.08.2007 GB 0715505**  
**10.08.2007 EP 07270041**  
**06.06.2008 GB 0810375**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**14.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**14.03.2012**

73 Titular/es:  
**BAE Systems PLC**  
**6 Carlton Gardens**  
**London SW1Y 5AD, GB**

72 Inventor/es:  
**STACEY, Craig, Daniel y**  
**WATSON, Malcolm Anthony**

74 Agente/Representante:  
**González Palmero, Fé**

ES 2 376 536 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

Mejoras relacionadas con guiondas de cristal fotónico

5 Esta invención se refiere a mejoras relacionadas con guiondas. Más particularmente, la invención se refiere a guiondas terminados para ser adecuados para su conexión a otros guiondas, o para acoplar radiación hacia el interior o hacia el exterior del guiondas. La invención también se refiere a un método de terminación de un guiondas, a un conector para un guiondas, y a un método de fijación de un conector a un guiondas. La invención se refiere a guiondas de fibra de cristal fotónico.

10 Las fibras de cristal fotónico son fibras ópticas que tienen un núcleo rodeado por una región de revestimiento en la que hay una red de orificios que discurren a lo largo de la longitud de la fibra. La región de núcleo tiene normalmente un diámetro que oscila entre 2  $\mu\text{m}$  y más, y la región de revestimiento comprende normalmente orificios que tienen un diámetro en el intervalo de desde submicrométrico hasta varios micrómetros. El diámetro global de la fibra depende, por ejemplo, del diámetro del núcleo y las propiedades de guiado, pero normalmente puede extenderse hasta varios cientos de micrómetros. Normalmente, los orificios están dispuestos para tener una estructura periódica cuando se observan en sección transversal a través de la fibra. Tales fibras también pueden describirse en la técnica como "fibras huecas" o "fibras microestructuradas".

20 En un tipo de fibra de cristal fotónico, conocido como "fibra hueca", el guiado se produce como resultado del contraste entre el índice de refracción del núcleo y el índice de refracción efectivo en el material "hueco" que rodea a la región de núcleo. La luz se guía por tanto a lo largo de la fibra mediante refracción, como es el caso en fibras ópticas más convencionales. En otras fibras de cristal fotónico, el núcleo o bien tiene un índice de refracción inferior al del revestimiento, o bien está hueco. En estas fibras, el guiado se produce como resultado de efectos de banda prohibida para fotones que surgen de la periodicidad de la estructura hueca. En ambos de estos tipos de fibra de cristal fotónico, los orificios son clave para las propiedades de guiado de la luz de la fibra.

30 Se ha encontrado que libras de cristal fotónico muestran varias propiedades ventajosas en comparación con fibras ópticas convencionales, tal como se da a conocer por J. C. Knight, T. A. Birks, P. St. J. Russell, y D. M. Atkins en el artículo "All-silica single-mode fiber with photonic crystal cladding", publicado en el volumen 21, Optics Letters, páginas 1547 - 1549 (1996) y seguido por la publicación de una fe de erratas en el volumen 22, Optics Letters, páginas 484 - 485 (1997); y por T. A. Birks, J. C. Knight y P. St. J. Russell en el artículo "Endlessly single-mode photonic crystal fibre", publicado en el volumen 22, Optics Letters, páginas 961 - 963 (1997).

35 Con el fin de aprovechar las propiedades ventajosas de las fibras de cristal fotónico, es necesario acoplar luz hacia el interior y hacia el exterior de tales fibras. En una cara de extremo de una longitud de fibra de cristal fotónico, los orificios que son necesarios para guiar la luz a lo largo del núcleo de la fibra están expuestos a la atmósfera ambiental. Por tanto, puede producirse la introducción de humedad y residuos. Sin embargo, la presencia de humedad y residuos en los orificios puede alterar las propiedades de guiado de la fibra de cristal fotónico. Por ejemplo, el índice de refracción de los orificios puede alterarse, o pueden bloquearse con material opaco. En cualquier caso, las propiedades de guiado de la fibra de cristal fotónico se ven adversamente afectadas. Tales problemas son particularmente graves cuando se desea fijar una fibra de cristal fotónico a un conector, de modo que la fibra pueda conectarse y desconectarse a voluntad. En estas circunstancias, la cara de extremo de la fibra de cristal fotónico está expuesta a la atmósfera durante algún tiempo, y el riesgo de que los orificios se ensucien es inaceptablemente grande.

50 Actualmente hay dos métodos conocidos en los que pueden superarse los problemas anteriores. O bien se empalma una longitud corta de fibra sólida sin núcleo directamente sobre el extremo de la fibra de cristal fotónico, o bien se calienta el extremo de la fibra hasta una temperatura próxima a su punto de fusión, provocando que los orificios se colapsen en la región próxima a la cara de extremo de la fibra de cristal fotónico (véase el documento US 2007010443). En ambos casos, no hay orificios presentes en la región próxima al extremo de la estructura resultante, tal como se ilustra de manera esquemática en la figura 1. En este caso, un guiondas 100 comprende fibra 110 de cristal fotónico y una región 120 de terminación. La fibra 110 tiene una región 112 de revestimiento, en la que hay una red de orificios que discurren a lo largo de la longitud de la fibra, y una región 114 de núcleo, a lo largo de la cual se guía la luz. Los orificios en la región 112 de revestimiento están sellados en la región 120 de terminación. Esta región de terminación puede ser del orden de 50  $\mu\text{m}$  a 2 mm de longitud. Sin embargo, tales soluciones conservan varias desventajas, resultantes del hecho de que existe una región de longitud posiblemente incierta en el extremo de la fibra en la que la fibra no tiene propiedades de guiado de la luz. Por tanto, la luz en la fibra de cristal fotónico diverge a través de esta región de extremo, y se emite con un diámetro de haz mucho mayor que el de la radiación en tránsito a través de la fibra. Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 1: el diámetro de haz en el plano marcado con el número de referencia 130, en el que el haz se emite desde el guiondas, es significativamente mayor que el del plano marcado con el número de referencia 140, en el que terminan los orificios. Por tanto es imposible acoplar con tope eficazmente tales fibras, ya que existe una falta de correlación de modo de campo y apertura numérica inherente. También es más difícil acoplar luz eficazmente al interior de la fibra: la parte central del haz que va a acoplarse en la fibra debe situarse a una distancia dentro de la fibra, en un punto en el que empiezan los orificios de guiado, en vez de en la cara de extremo de la fibra. Tales problemas son particularmente

evidentes para fibras de cristal fotónico con regiones de núcleo más pequeñas, del orden de 1  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ . También se conoce a partir del documento US 20070104431 y de W.S MOHAMMED *et al.*, J. of Lightwave Techn., vol. 22 (2), (2004) empalmar lentes de enfoque o colimación.

5 Por tanto, un objeto de la presente invención es superar, o al menos mitigar en parte, los problemas identificados anteriormente. Un objeto adicional de la invención es proporcionar un método de terminación de una fibra de cristal fotónico que permite que la luz se acople eficazmente hacia el interior de fibras de cristal fotónico, y que permite que tales fibras se acoplen con tope sin incurrir en tales pérdidas significativas como las que se incurre usando las técnicas conocidas actualmente. Todavía un objeto adicional de la invención es proporcionar conectores adecuados para fibras de cristal fotónico.

10 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un guiaondas que comprende fibra de cristal fotónico terminada por un dispositivo de transmisión multimodo para su uso en la conexión y desconexión de la fibra a voluntad, en el que el dispositivo de transmisión multimodo está configurado de tal manera que, al usar el guiaondas para guiar luz de una longitud de onda predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en un primer extremo del dispositivo de transmisión multimodo comprende una imagen de una segunda distribución de intensidad luminosa en el otro extremo del dispositivo de transmisión multimodo, resultando la imagen de interferencia multimodo en el dispositivo de transmisión multimodo. La salida del dispositivo de transmisión multimodo, o dispositivo de obtención de nuevas imágenes, es distribución de intensidad luminosa que comprende una imagen de distribución de intensidad luminosa introducida en el dispositivo de obtención de nuevas imágenes. Por tanto, cuando se transmite luz a través de un guiaondas según el primer aspecto de la presente invención, que sale a través del dispositivo de obtención de nuevas imágenes que termina la fibra de cristal fotónico, hay menos divergencia de la que se produciría si la fibra de cristal fotónico se termina por una región no de guiado en la que los orificios estaban sellados. Por tanto, tales guiaondas pueden acoplarse con tope más eficazmente de lo que ha sido posible anteriormente usando las técnicas conocidas anteriores descritas anteriormente. Además, puesto que la cara de extremo del guiaondas terminado se forma por el dispositivo de obtención de nuevas imágenes, se evita que entre humedad y otros residuos en los orificios de la fibra de cristal fotónico, y se conservan las propiedades de guiado de la fibra de cristal fotónico.

20 25 30 Los dispositivos de transmisión multimodo pueden soportar la transmisión de luz en una pluralidad de modos espaciales. La interferencia entre los modos espaciales individuales puede producir la obtención de nuevas imágenes de la entrada en el dispositivo.

35 De manera conveniente, el dispositivo de transmisión multimodo puede ser una longitud de fibra multimodo. La fibra multimodo está fácilmente disponible comercialmente en varios tamaños convencionales, de modo que el guiaondas según la presente invención puede usarse en combinación con conectores convencionales. Ventajosamente, por tanto, la presente invención permite que se usen fibras de cristal fotónico con conectores convencionales de manera más eficaz de lo que ha sido posible anteriormente. Por ejemplo, el extremo terminado del guiaondas puede alojarse dentro de un casquillo, casquillo que se aloja dentro de un cuerpo de conector. El casquillo puede colocarse de tal manera que el extremo terminado del guiaondas está a nivel con un extremo del casquillo. Esto facilita el acoplamiento con tope de los guiaondas. El casquillo puede colocarse de tal manera que la unión entre la fibra de cristal fotónico y el dispositivo de obtención de nuevas imágenes se aloja dentro del casquillo. Una disposición de este tipo refuerza ventajosamente la unión entre la fibra de cristal fotónico y el dispositivo de obtención de nuevas imágenes. Opcionalmente, el casquillo se fabrica de un material seleccionado del grupo que consiste en materiales cerámicos, metálicos y de zirconato.

40 45 50 55 La fibra multimodo puede empalmarse sobre la fibra de cristal fotónico. Preferiblemente, la longitud de la fibra multimodo se selecciona de tal manera que, al usar el guiaondas para guiar luz de una longitud de onda predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en un primer extremo del guiaondas multimodo comprende una imagen de una segunda distribución de intensidad luminosa en el otro extremo del guiaondas multimodo. El dispositivo de transmisión multimodo puede comprender alternativamente cualquier dispositivo que puede guiar varios modos espaciales de luz y soportar la interferencia multimodo de tal manera que puede formarse una imagen de interferencia multimodo. Por ejemplo, pueden configurarse dispositivos rectangulares o cúbicos, que son transparentes a la longitud de onda operacional del guiaondas, mediante la selección de dimensiones apropiadas, para soportar varios modos espaciales y muestran la propiedad de obtención de nuevas imágenes, y por tanto también pueden usarse como dispositivos de transmisión multimodo.

60 La salida del dispositivo de obtención de nuevas imágenes puede ser una imagen uno a uno de la entrada en el dispositivo de obtención de nuevas imágenes. Alternativamente, la salida del dispositivo de obtención de nuevas imágenes es una imagen múltiple de la entrada en el dispositivo de obtención de nuevas imágenes. Por tanto el guiaondas puede usarse o bien en combinación con conectores convencionales, cuando se forma una imagen uno a uno, o bien, cuando se forma una imagen múltiple, el guiaondas puede usarse como divisor óptico.

65 La invención se extiende a un conector para un guiaondas tal como se describió anteriormente, comprendiendo el conector un cuerpo de conector, y un casquillo configurado para ajustarse dentro del cuerpo de conector y para recibir tanto el dispositivo de obtención de nuevas imágenes como al menos una parte de la fibra de cristal fotónico.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un par de guiaondas, estando terminado cada  
 5 guiaondas del par de guiaondas por un dispositivo de transmisión multimodo para su uso en la conexión y  
 desconexión de los guiaondas a voluntad, siendo complementarias las dimensiones de los dispositivos de  
 transmisión multimodo de tal manera que, cuando el par de guiaondas se conectan entre sí, la entrada en uno del  
 10 par de guiaondas es una nueva imagen uno a uno de la salida del otro del par de guiaondas, y de tal manera que, en  
 la superficie de contacto entre los guiaondas, se forma una imagen múltiple de la salida de dicho uno de los  
 guiaondas. Los guiaondas comprenden cada uno fibra de cristal fotónico. Se espera que tales pares encontrarán  
 aplicación cuando es necesario conectar entre sí guiaondas usados para transmitir luz de alta intensidad, puesto que  
 15 se obtiene una intensidad reducida en la superficie de contacto entre los dos guiaondas. Se espera que una  
 intensidad reducida de este tipo dé como resultado una reducción en el riesgo de daño en la superficie de contacto  
 producido por imperfecciones en la calidad óptica de la superficie de contacto.

Según un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de terminación de una fibra de cristal  
 15 fotónico que comprende la etapa de fijar un dispositivo de transmisión multimodo a un primer extremo de la fibra de  
 cristal fotónico para su uso en la conexión y desconexión de la fibra a voluntad. El dispositivo de transmisión  
 multimodo puede estar configurado de tal manera que, al usar la fibra de cristal fotónico terminada para guiar luz de  
 una longitud de onda predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en la salida del dispositivo de  
 20 transmisión multimodo comprende una imagen de una segunda distribución de luz en el primer extremo de la fibra  
 de cristal fotónico. La primera distribución de intensidad luminosa puede ser una imagen uno a uno de la segunda  
 distribución de intensidad luminosa. Alternativamente, la primera distribución de intensidad luminosa puede ser una  
 imagen múltiple de la segunda distribución de intensidad luminosa.

Según un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un método de fijación de un conector a una fibra  
 25 de cristal fotónico de modo que la fibra puede conectarse y desconectarse a voluntad, comprendiendo el método las  
 etapas de:

(i) terminar la fibra de cristal fotónico empalmando fibra multimodo sobre un extremo de la fibra de cristal fotónico  
 30 para formar un extremo de fibra de cristal fotónico terminada;

(ii) situar un casquillo en la fibra de cristal fotónico terminada y de tal manera que hay una longitud predeterminada  
 de fibra multimodo entre el empalme y el extremo de salida del casquillo; y

(iii) situar el casquillo dentro de un cuerpo de conector.

La etapa (ii) puede comprender además situar el casquillo de tal manera que una parte de la fibra multimodo  
 sobresale más allá del extremo de salida del casquillo, y comprendiendo el método además la etapa de retirar la  
 parte de fibra multimodo que sobresale más allá del extremo de salida del casquillo de tal manera que el extremo de  
 40 salida de la fibra multimodo está a nivel con el extremo de salida del casquillo. La longitud predeterminada puede  
 seleccionarse de tal manera que, al usar la fibra de cristal fotónico para guiar luz de una longitud de onda  
 predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en el extremo de salida de la fibra de cristal  
 fotónico terminada comprende una imagen de la distribución de intensidad luminosa en el extremo empalmado de la  
 fibra multimodo.

Las características anteriores y otras adicionales de la invención se explican con detalle en las reivindicaciones  
 45 adjuntas y se describirán más adelante en el presente documento con referencia a diversas realizaciones a modo de  
 ejemplo y a los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 ilustra luz que emana de una fibra de cristal fotónico terminada según un método conocido anterior;

la figura 2 ilustra un guiaondas según una primera realización de la invención;

las figuras 3a a 3c ilustran un método de fijación de un conector a una fibra de cristal fotónico según una realización  
 55 adicional de la invención; y

la figura 4 es una fotografía de un conector según una realización todavía adicional de la invención.

Las diversas realizaciones que van a describirse a continuación hacen uso cada una de una propiedad de obtención  
 60 de nuevas imágenes del guiaondas multimodo. El guiaondas multimodo, a diferencia del guiaondas monomodo  
 puede guiar diversos modos espaciales diferentes. La propiedad de obtención de nuevas imágenes resulta de la  
 interferencia multimodo, y hace que aparezcan imágenes individuales y múltiples de la entrada en un guiaondas  
 multimodo a intervalos periódicos a lo largo del guiaondas. El fenómeno se conoce, por ejemplo, del artículo "Optical  
 Multi-Mode Interference Devices Based on Self-Imaging: Principles and Applications" de L. B. Soldano y E. C. M.  
 Pennings, publicado en el Journal of Lightwave Technology, volumen 13, páginas 615 - 627 (1995). Cada modo  
 65 portado por un guiaondas de este tipo se propagará con una constante de propagación diferente, dando como  
 resultado diferencias de fase que se acumulan entre los diferentes modos. La propiedad de obtención de nuevas

imágenes puede analizarse en lo que se refiere a la variación de la constante de propagación con el número de modo. Más particularmente, puede mostrarse que la longitud  $L_N$  del guiaondas multimodo requerida con el fin de que una imagen de orden  $N$  de la entrada se forme en la salida es:

$$L_N = \frac{n_1 W^2}{N \lambda} \quad (1)$$

5 en la que  $n_1$  es el índice de refracción del medio del núcleo del guiaondas multimodo,  $W$  es el ancho de la región del núcleo multimodo y  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación introducida hacia el interior del guiaondas multimodo. Por tanto, un guiaondas multimodo de longitud  $L_1$  formará una imagen uno a uno de su entrada en su salida. Una descripción de la propiedad de obtención de nuevas imágenes puede encontrarse en el artículo al que se ha hecho referencia anteriormente.

10 Esta propiedad de obtención de nuevas imágenes del guiaondas multimodo se usa, según realizaciones de la presente invención, conjuntamente con fibra de cristal fotónico. La figura 2 ilustra un guiaondas 200 según una realización de la invención que comprende fibra 210 de cristal fotónico de núcleo sólido terminada por una longitud de fibra 220 multimodo. La fibra 210 tiene una región 212 de revestimiento, en la que hay una red de orificios que discurren a lo largo de la longitud de la fibra, y una región 214 de núcleo, a lo largo de la cual se guía luz. La fibra 220 multimodo puede fijarse a la fibra 210 de cristal fotónico mediante un procedimiento de empalme, tal como se describe en mayor detalle más adelante. Sin embargo, hay que señalar que los orificios de la fibra de cristal fotónico no resultan dañados significativamente por el procedimiento de empalme. Por consiguiente, por tanto, las propiedades de guiado de la fibra de cristal fotónico no resultan sustancialmente afectadas por la terminación. La luz que se propaga a través de la fibra sigue guiándose a lo largo de sustancialmente toda la extensión de la fibra de cristal fotónico, y a través de la longitud de fibra multimodo. Mediante la selección de las dimensiones de la fibra multimodo usando la fórmula (1) anterior, puede disponerse la salida de la longitud de fibra 220 multimodo para que comprenda una imagen de la entrada en la fibra multimodo. En la presente realización, las dimensiones de la fibra 220 multimodo se seleccionan de tal manera que la salida de la fibra multimodo es una imagen uno a uno de la salida de la fibra 210 de cristal fotónico. Puesto que la fibra multimodo está disponible comercialmente en varios anchos convencionales, resulta conveniente elegir la longitud de la fibra 220 multimodo para lograr la obtención de nuevas imágenes deseada.

30 Para longitudes de onda en el intervalo de 400 nm a 1550 nm, en las que se cree actualmente que se encontrarán la mayoría de las aplicaciones para la fibra de cristal fotónico, un material adecuado para la fibra 220 multimodo y la fibra 210 de cristal fotónico es sílice, que tiene un índice de refracción en el intervalo de desde 1,44 hasta 1,47. La fibra multimodo fabricada de sílice está disponible comercialmente con tamaños de núcleo de 62,5  $\mu\text{m}$  y 105  $\mu\text{m}$ . El diámetro de la fibra multimodo usado se selecciona para lograr un buen empalme entre la fibra 210 de cristal fotónico y la fibra 220 multimodo. La longitud de fibra 220 multimodo requerida para que la salida de la fibra comprenda una imagen de la entrada en la fibra depende de la longitud de onda  $\lambda$  de la radiación de entrada. Por tanto, para una longitud de onda de 532 nm, obtenida de un diodo láser en estado sólido de Coherent Inc. Verdi (Nd:YVO<sub>4</sub>) y usando fibra multimodo de sílice disponible comercialmente de los tamaños anteriores, la longitud de la fibra multimodo necesaria es o bien de 10,7 mm (para fibra de 62,5  $\mu\text{m}$ ) o bien de 30,3 mm (para fibra de núcleo de 105  $\mu\text{m}$ ). La tolerancia para estas longitudes dependerá de la longitud de nueva imagen lograda, que a su vez dependerá del tamaño de núcleo exacto de la fibra multimodo, y de la longitud de onda operacional. Para los ejemplos numéricos específicos facilitados anteriormente, la tolerancia en la longitud de nueva imagen es de entre 50  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ .

45 A partir de lo anterior queda claro que las fibras de cristal fotónico terminadas con fibra multimodo a la manera del guiaondas 200 estarán necesariamente configuradas en general específicamente para una longitud de onda de luz particular. Fuera de esta longitud de onda, habrá pérdidas en la terminación en la que se acopla la luz hacia el interior o hacia el exterior de la fibra. Sin embargo, puesto que la fibra de cristal fotónico tal como se suministra se optimiza frecuentemente para la transmisión de una longitud de onda de luz particular, no se espera que la amplitud de aplicación de estos guiaondas se limite en ninguna forma sustancial debido a la necesidad de especificar una longitud de onda particular a la que va a usarse el guiaondas terminado. Una excepción es que tales terminaciones claramente no sean apropiadas cuando se están usando fibras de cristal fotónico para aplicaciones de banda ultra-ancha.

55 La fibra 220 multimodo se une a la fibra 210 de cristal fotónico mediante empalme. Puede usarse empalme por fusión para obtener una unión de calidad adecuada. Un empalme por fusión es efectivamente una "soldadura permanente" entre dos fibras. Pueden lograrse pérdidas de inserción muy bajas, normalmente inferiores a 0,1 dB. Puede usarse o bien empalme por fusión de filamento o bien empalme por fusión de arco. En ambas técnicas de empalme, debe tenerse cuidado para garantizar que el entorno está limpio para evitar la entrada de materia extraña en los orificios de la fibra de cristal fotónico.

60 Las fibras que van a empalmarse se separan en primer lugar de cualquier recubrimiento de polímero o acrilato protector, y se parten, para dejar extremos de fibra desnudos que tienen una cara de extremo plana, limpia. Se usa una longitud de fibra multimodo mucho más larga que la requerida para la obtención de nuevas imágenes, puesto

que mediante el uso de máquinas de empalme convencionales, es difícil empalmar la longitud requerida sobre una fibra de cristal fotónico. Las fibras se sitúan en abrazaderas y se alinean usando una cámara de vídeo de aumento. Los extremos de fibra se reúnen entonces y se aplica calor a la región de unión en presencia de una corriente de gas argón. En el caso de empalme por fusión de filamento, se aplica calor a través del uso de un filamento de alta potencia en estrecha proximidad a la región de unión. Los extremos de fibra se calientan hasta una temperatura suficiente para ablandar los extremos de fibra de sílice sin dañar la estructura de orificio de la fibra de cristal fotónico. El calor aplicado puede producir cierta deformación o colapso en los orificios en la región de revestimiento de la fibra 210 de cristal fotónico, aunque un daño de este tipo es pequeño en comparación con el producido por las técnicas de sellado de orificios conocidos de la técnica anterior usadas para terminar fibras de cristal fotónico. Entonces se aplica una fuerza para empujar los extremos de fibra juntos de tal manera que se fusionen las fibras. Vytran FFS-200 es un empalmador por fusión de filamento disponible comercialmente que es adecuado para llevar a cabo el procedimiento anterior, y puede llevar a cabo algunas de las etapas anteriores de manera automática. Finalmente, la fibra multimodo se vuelve a cortar a la longitud requerida.

También puede usarse empalme por fusión de arco para unir entre sí una longitud de fibra de cristal fotónico con una longitud de fibra multimodo usando un método similar al descrito anteriormente. Los empalmadores por fusión de arco, tales como Fujikura Splice-Mate, usan una descarga eléctrica para calentar los extremos de fibra, y también están disponibles comercialmente.

Pueden usarse fibras de cristal fotónico terminadas tales como el guiaondas 200 mostrado en la figura 2 para fabricar conectores para fibras de cristal fotónico. Las figuras 3 a - c ilustran etapas en un método para fabricar tales conectores según una realización de la invención. En primer lugar, tal como se muestra en la figura 3a, se sitúa un guiaondas 325 terminado y se fija, usando adhesivos o colas convencionales, en un casquillo 335. El casquillo 335 se fabrica preferiblemente de un material cerámico, pero también puede fabricarse de otros materiales, por ejemplo también pueden usarse los seleccionados del grupo que consiste en materiales cerámicos, metálicos y de zirconato. El guiaondas 325 comprende una fibra de cristal fotónico unida a una longitud de fibra multimodo. La fibra se sitúa de tal manera que una pequeña parte 330 de la fibra multimodo sobresale más allá del borde del casquillo. Tal como se muestra en la figura 3b, entonces se fija el cuerpo 345 de conector. Finalmente, la parte 330 que sobresale de la fibra se retira mediante pulido, para dar como resultado el conector 300 acabado tal como se muestra en la figura 3c. En este caso, el extremo del guiaondas terminado está a nivel con el extremo del casquillo. La longitud de la fibra multimodo fijada a la fibra de cristal fotónico necesitará ser por tanto ligeramente más larga que la longitud determinada mediante la fórmula (1) anterior, ya que la pequeña parte 330 se retirará tras fabricarse el conector 300. Por tanto, al colocar la fibra 325 en el casquillo 335, la cantidad de fibra que sobresale más allá de la cara de extremo del casquillo se selecciona de tal manera que tras el pulido queda la longitud correcta de fibra multimodo para la obtención de nuevas imágenes.

La figura 4 muestra una fotografía de un conector 400 para una fibra de cristal fotónico según una realización de la invención. El conector 400 se fabrica usando el método descrito anteriormente con referencia a las figuras 3 a - c, y es un conector de SMA convencional con un casquillo metálico. También pueden usarse fibras de cristal fotónico terminadas según realizaciones de la invención con otros cuerpos de conector convencionales, tales como conectores FC/PC.

Es preferible, en los conjuntos 300 y 400 de conector descritos anteriormente, que el empalme entre la fibra multimodo y la fibra de cristal fotónico esté dentro del casquillo. Por tanto se necesita además seleccionar el grosor de la fibra multimodo de modo que el conjunto de fibra se ajuste en el casquillo, y de modo que haya suficiente adhesión entre el conjunto de fibra y el casquillo. Es posible personalizar casquillos con el fin de tener dimensiones apropiadas. Sin embargo, hay casquillos convencionales disponibles que tienen una variedad de diámetros de orificio y una longitud de 12,7 mm. Por tanto es preferible usar fibra multimodo con un ancho de 62,5  $\mu\text{m}$ , para el que la longitud de la imagen uno a uno calculada a partir de la fórmula (1) anterior es de 11 mm para una radiación con una longitud de onda de 532 nm, ya que puede usarse un casquillo de longitud convencional. Además, también resulta evidente a partir de (1) anterior que aumentando la longitud de la fibra multimodo se relaja la tolerancia en esa longitud.

Se consideran realizaciones adicionales de la presente invención que aprovechan las imágenes de orden superior resultantes de las propiedades de interferencia multimodo de guiaondas de otras maneras. Por ejemplo, los expertos en la técnica apreciarán que los dispositivos de obtención de nuevas imágenes pueden usarse para terminar fibras de cristal fotónico para proporcionar divisores ópticos, en los que el dispositivo de obtención de nuevas imágenes está dispuesto de tal manera que su salida comprende una imagen múltiple de su entrada. Actualmente se considera que guiaondas multimodo con geometría rectangular serán lo más apropiado para una aplicación de este tipo. Se espera que guiaondas multimodo que tienen una geometría rectangular emitan imágenes diferenciadas de su entrada, tal como se necesita si la estructura resultante debe ser útil como divisor óptico. Por ejemplo, para un guiaondas rectangular que tiene un núcleo con una altura aproximadamente igual al diámetro del núcleo de PCF de entrada, pero con un ancho mayor, y una longitud seleccionada para producir una nueva imagen según la ecuación (1) anterior para  $N = 2$ , se esperará una doble imagen de la entrada en el extremo de salida de la guiaondas rectangular. Guiaondas cuadrados mostrarán obtención de nueva imagen en ambas direcciones perpendiculares al eje del haz, de modo que, para  $N = 2$  en la ecuación (1) anterior, se formarán cuatro imágenes del haz de entrada.

En el caso de fibra multimodo, u otros guiaondas de geometría cilíndrica, se espera que imágenes de orden superior de una entrada de modo individual estén en forma de anillos alrededor de un pico central. Se observará que, aunque el tamaño del núcleo del dispositivo de transmisión multimodo se seleccionará dependiendo del tamaño de núcleo de la fibra de cristal fotónico, las dimensiones globales del guiaondas multimodo se seleccionarán con el fin de lograr un buen empalme con la fibra de cristal fotónico.

Por tanto, el perfil de intensidad del haz variará significativamente en puntos de obtención de nueva imagen de orden superior dependiendo de diversos factores incluyendo la geometría de la fibra multimodo. Puede ser posible aumentar la intensidad en el eje. Tal intensidad aumentada será ventajosa en aplicaciones ópticas no lineales en las que son sumamente deseables haces de alta intensidad. Alternativamente, puede ser posible reducir la intensidad máxima del haz. Tal intensidad reducida será ventajosa cuando se requieren conexiones entre diferentes fibras que llevan haces de alta energía, ya que, a altas intensidades, incluso pequeñas imperfecciones pueden dar como resultado un daño grave al sistema óptico.

Tal daño puede producirse con frecuencia cuando haces de alta intensidad afectan a conectores o lentes. Por tanto cualquier reducción en la intensidad máxima de un haz puede ser útil en puntos de conexión, particularmente cuando puede volver a conseguirse la intensidad inicial del haz tras la transmisión a través de la conexión. Aprovechando una reducción de la intensidad máxima obtenida como resultado de usar, como superficie de contacto de conexión, un punto en una fibra multimodo en el que se obtienen nuevas imágenes de orden superior, puede reducirse el riesgo de tal daño. Por ejemplo, R. M. Jenkins, R.W. J. Devereux, y J. M. Heaton, en su artículo "Waveguide beam splitters and recombiners based on multimode propagation phenomena", publicado en la página 991 de Optics Letters, volumen 14 (1992), proponen un divisor de guiaondas rectangular en el que un haz de entrada se divide en dos. La modelización presentada en ese artículo demuestra una reducción en la intensidad de los haces divididos en comparación con el haz de entrada. Proporcionando fibras de cristal fotónico terminadas con longitudes de tal guiaondas seleccionadas de tal manera que se obtiene una nueva imagen de segundo orden de este tipo en la salida, se reduce la intensidad máxima en cualquier punto en la superficie de contacto de conexión en comparación con la intensidad máxima del haz de entrada. Para haces de alta potencia (del orden de 100 W o superior), para los que con frecuencia se usan fibras de cristal fotónico para transmitirlos, la reducción de la intensidad máxima obtenida de tal manera reduce el riesgo de daño que se produce en la superficie de contacto de conexión. El empalme de guiaondas rectangular, de dimensiones seleccionadas de tal manera que se obtiene una nueva imagen de segundo orden de la entrada en el extremo de salida, sobre fibra de cristal fotónico, puede usarse por tanto cuando deben transmitirse haces de alta potencia a lo largo de la fibra de cristal fotónico.

De manera similar, puede aprovecharse la nueva imagen de tercer orden. Se espera que la nueva imagen de tercer orden, para la geometría anterior, tenga una intensidad máxima inferior. Sin embargo, la longitud de guiaondas multimodo requerida para obtener una nueva imagen de tercer orden es un tercio de la requerida para obtener una nueva imagen uno a uno del haz de entrada. Por tanto, dos fibras de cristal fotónico que van a conectarse entre sí se terminan mediante longitudes complementarias de guiaondas multimodo: una fibra de cristal fotónico se termina mediante una longitud de fibra multimodo de un tercio de la requerida para formar una nueva imagen uno a uno, y una fibra de cristal fotónico que debe conectarse puede terminar mediante una longitud de guiaondas multimodo que es de dos tercios de la requerida para formar una nueva imagen uno a uno. Para garantizar que se combinan las terminaciones correctas, es deseable formar los extremos terminados en conectores macho y hembra. También pueden usarse nuevas imágenes de orden superior. Como apreciarán los expertos en la técnica, tales aplicaciones no se limitan a conectar fibras de cristal fotónico, sino que pueden usarse siempre que se transmitan haces de láser de alta potencia a lo largo de guiaondas.

Habiendo descrito la invención con referencia a diversas realizaciones específicas, se observa que esas realizaciones son meramente a modo de ejemplo, y que son posibles variaciones y modificaciones de esas realizaciones sin apartarse del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, aunque se ha descrito anteriormente usar fibras de cristal fotónico y fibras multimodo fabricadas a partir de sílice para su uso a longitudes de onda de o de aproximadamente 532 nm, resultará fácilmente obvio para los expertos en la técnica que la invención se extiende a otros intervalos de longitud de onda, en los que puede ser necesario usar fibras fabricadas a partir de materiales distintos de sílice. En particular, para el funcionamiento a longitudes de onda superiores, tales como de entre 2  $\mu\text{m}$  y 4  $\mu\text{m}$ , pueden usarse fibras de cristal fotónico y fibras multimodo fabricadas a partir de vidrios de calcogenuro, fluoruro o telurido.

Además, los expertos en la técnica constatarán fácilmente que, aunque anteriormente se ha descrito el uso de fibras de cristal fotónico de núcleo sólido, también será posible aplicar los conceptos inventivos descritos a fibras de cristal fotónico de núcleo hueco. En tales realizaciones, se usan guiaondas de núcleo hueco para formar la región de transmisión multimodo de obtención de nuevas imágenes. Los expertos en la técnica apreciarán que será necesario incorporar una ventana en el guiaondas en algún punto con el fin de sellar los orificios de la fibra de cristal fotónico (por ejemplo, en el extremo exterior del guiaondas multimodo de núcleo hueco). Los expertos en la técnica también constatarán que, aunque en lo anterior se ha descrito usar fibra multimodo para proporcionar el dispositivo de obtención de nuevas imágenes, puede usarse cualquier dispositivo de transmisión multimodo que pueda soportar interferencia multimodo y obtención de nuevas imágenes junto con la presente invención, tal como guiaondas multimodo de otras geometrías. Tales dispositivos de transmisión multimodo pueden incluir guiaondas cuadrados o

rectangulares. Además, puede usarse cualquier dispositivo de obtención de nuevas imágenes que puede hacerse funcionar para reproducir su entrada óptica en su salida para terminar fibras de cristal fotónico según la invención.

- 5 También debe entenderse claramente que cualquier característica descrita anteriormente en relación con cualquier realización puede usarse sola, o en combinación con otras características descritas, y también puede usarse en combinación con una o más características de cualquier otra de las realizaciones, o cualquier combinación de cualquier otra de las realizaciones.



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Guiaondas que comprende fibra de cristal fotónico terminada por un dispositivo de transmisión multimodo para su uso en la conexión y desconexión de la fibra a voluntad, en el que el dispositivo de transmisión multimodo está configurado de tal manera que, al usar el guiaondas para guiar luz de una longitud de onda predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en un primer extremo del dispositivo de transmisión multimodo comprende una imagen de una segunda distribución de intensidad luminosa en el otro extremo del dispositivo de transmisión multimodo, resultando la imagen de interferencia multimodo en el dispositivo de transmisión multimodo.
- 10 2. Guiaondas según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de transmisión multimodo es una longitud de fibra multimodo.
3. Guiaondas según la reivindicación 2, en el que la fibra multimodo se empalma sobre la fibra de cristal fotónico.
- 15 4. Guiaondas según cualquier reivindicación anterior, en el que la salida del dispositivo de transmisión multimodo es una imagen uno a uno de la entrada en el dispositivo de transmisión multimodo.
- 20 5. Guiaondas según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la salida del dispositivo de transmisión multimodo es una imagen múltiple de la entrada en el dispositivo de transmisión multimodo.
6. Guiaondas según cualquier reivindicación anterior, en el que el extremo terminado del guiaondas se aloja dentro de un casquillo, casquillo que se aloja dentro de un cuerpo de conector.
- 25 7. Guiaondas según la reivindicación 6, en el que el casquillo se sitúa de tal manera que el extremo terminado del guiaondas está a nivel con un extremo del casquillo.
8. Guiaondas según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el casquillo se sitúa de tal manera que la unión entre la fibra de cristal fotónico y el dispositivo de transmisión multimodo se aloja dentro del casquillo.
- 30 9. Guiaondas según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el casquillo se fabrica de un material seleccionado del grupo que consiste en materiales cerámicos, metálicos y de zirconato.
- 35 10. Conector para un guiaondas según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, comprendiendo el conector un cuerpo de conector, y un casquillo configurado para ajustarse dentro del cuerpo de conector y para recibir tanto el dispositivo de transmisión multimodo como al menos una parte de la fibra de cristal fotónico.
- 40 11. Par de guiaondas, siendo cada guiaondas del par de guiaondas según la reivindicación 1, en el que las dimensiones de los dispositivos de transmisión multimodo son complementarias de tal manera que, como resultado de interferencia multimodo en los dispositivos de transmisión multimodo, cuando el par de guiaondas se conectan entre sí, la entrada en una de las fibras de cristal fotónico es una nueva imagen uno a uno de la salida de la otra de las fibras de cristal fotónico, y de tal manera que, en la superficie de contacto entre los guiaondas, se forma una imagen múltiple de la salida de dicho uno de los guiaondas como resultado de interferencia multimodo en los dispositivos de transmisión multimodo.
- 45 12. Método de terminación de una fibra de cristal fotónico que comprende la etapa de fijar un dispositivo de transmisión multimodo a un primer extremo de la fibra de cristal fotónico para su uso en la conexión y desconexión de la fibra a voluntad, en el que el dispositivo de transmisión multimodo está configurado de tal manera que, al usar la fibra de cristal fotónico terminada para guiar luz de una longitud de onda predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en la salida del dispositivo de transmisión multimodo comprende una imagen de una segunda distribución de luz en el primer extremo de la fibra de cristal fotónico.
- 50 13. Método según la reivindicación 12, en el que la primera distribución de intensidad luminosa es una imagen uno a uno de la segunda distribución de intensidad luminosa.
- 55 14. Método según la reivindicación 12, en el que la primera distribución de intensidad luminosa es una imagen múltiple de la segunda distribución de intensidad luminosa.
- 60 15. Método de fijación de un conector a una fibra de cristal fotónico para su uso en la conexión y desconexión de la fibra a voluntad, comprendiendo el método las etapas de:
- 65 (i) terminar la fibra de cristal fotónico empalmando fibra multimodo sobre un extremo de la fibra de cristal fotónico para formar un extremo de fibra de cristal fotónico terminado;
- (ii) situar un casquillo en la fibra de cristal fotónico terminada y de tal manera que hay una longitud predeterminada de fibra multimodo entre el empalme y el extremo de salida del casquillo en el que la longitud predeterminada se selecciona de tal manera que, al usar la fibra de cristal fotónico para guiar luz de una longitud de onda

predeterminada, una primera distribución de intensidad luminosa en el extremo de salida de la fibra de cristal fotónico terminada comprende una imagen de la distribución de intensidad luminosa en el extremo empalmado de la fibra multimodo, formándose la imagen como resultado de interferencia multimodo en el dispositivo de transmisión multimodo; y

5

(iii) situar el casquillo dentro de un cuerpo de conector.

10

16. Método según la reivindicación 15, en el que la etapa (ii) comprende además situar el casquillo de tal manera que una parte de la fibra multimodo sobresale más allá del extremo de salida del casquillo, y comprendiendo el método además la etapa de retirar la parte de fibra multimodo que sobresale más allá del extremo de salida del casquillo de tal manera que el extremo de salida de la fibra multimodo está a nivel con el extremo de salida del casquillo.

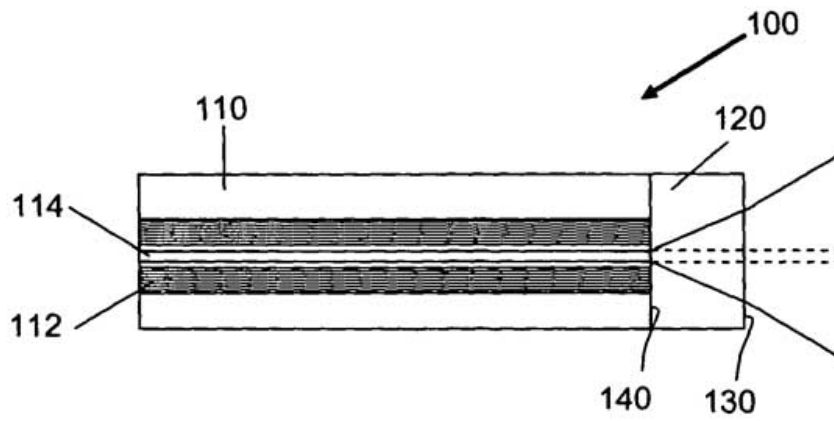


Figura 1 (Técnica anterior)

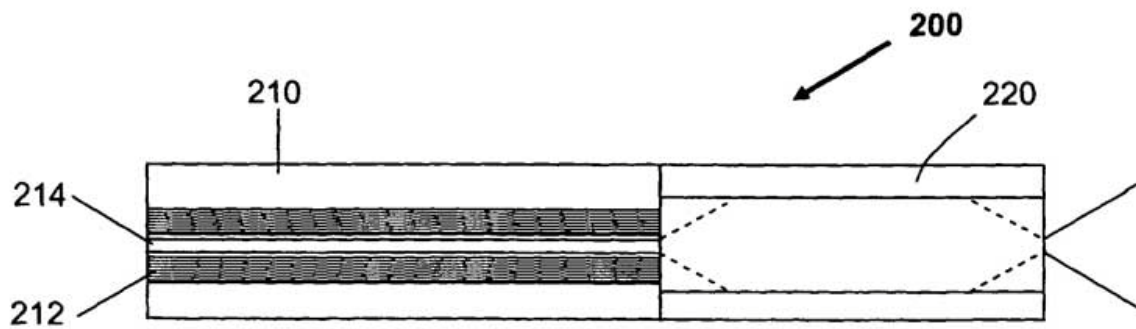


Figura 2

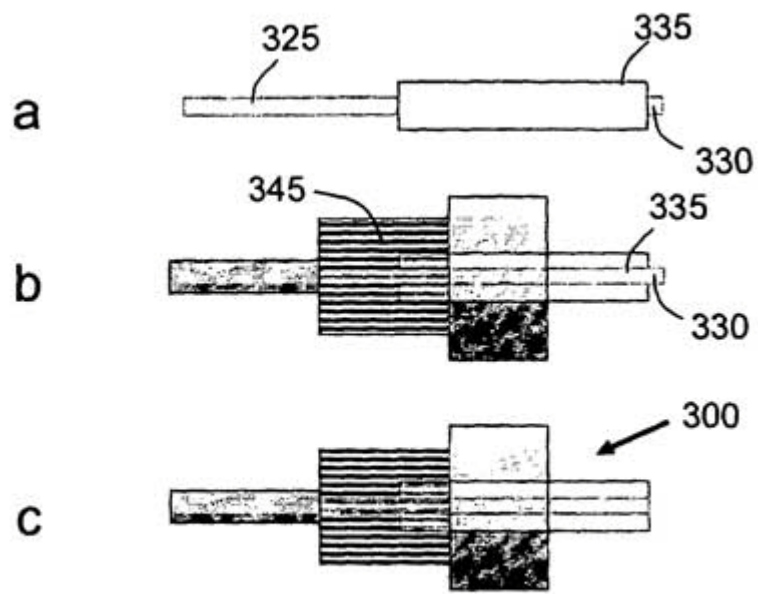


Figura 3

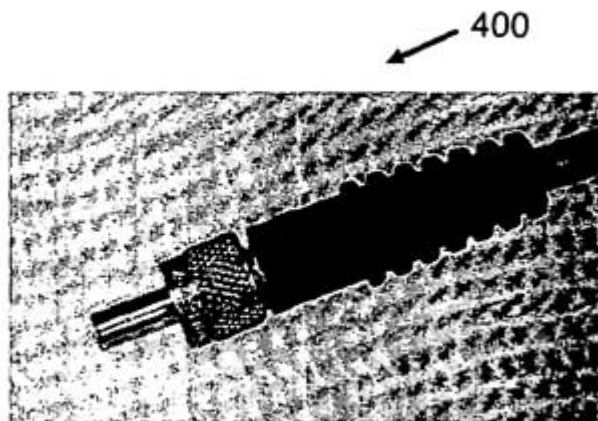


Figura 4