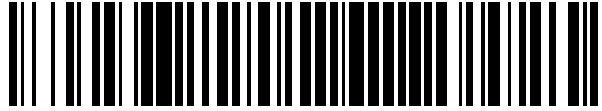


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 725 487**

51 Int. Cl.:

G02B 6/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.05.2016 PCT/US2016/030531**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.11.2016 WO16182789**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2016 E 16722764 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 3295227**

54 Título: **Transporte de radiación de láser polarizada usando una fibra de núcleo hueco**

30 Prioridad:

14.05.2015 US 201562161750 P

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

24.09.2019

73 Titular/es:

**COHERENT, INC. (100.0%)
5100 Patrick Henry Drive
Santa Clara, CA 95054, US**

72 Inventor/es:

**HERTWIG, MICHAEL;
HODGSON, NORMAN y
SIMANOVSKI, DMITRI**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 725 487 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

Transporte de radiación de láser polarizada usando una fibra de núcleo hueco

5 **Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere en general a transporte de radiación láser usando una fibra óptica. La invención se refiere en particular a transportar radiación de láser pulsada polarizada usando una fibra (HCF) de núcleo hueco (óptica).

10

Análisis de antecedentes de la técnica

Las fibras de suministro (transporte) se usan comúnmente para transportar luz de láser (radiación) de una fuente de la misma a un punto de uso. Esta técnica permite una separación conveniente de la fuente del punto de uso en muchos metros. Las disposiciones de entrega de fibra del estado de la técnica pueden transportar radiación láser de onda continua (CW) con potencias de hasta decenas de kilovatios (kW) a través de distancias de hasta cientos de metros. Tales disposiciones de entrega típicamente emplean una fibra de transporte que tiene núcleo de vidrio sólido rodeado por revestimientos y cubiertas para guiar la radiación y proteger la fibra.

15

20

Cuando se usa con láseres de alta energía pulsados ultra-cortos, este núcleo de vidrio sólido reduce la calidad del pulso en los dominios temporal y espectral debido a efectos no lineales en el vidrio. Esto puede conducir a problemas que incluyen una duración de pulso aumentada, y un perfil de pulso temporal gravemente distorsionado (con forma de pulso). En un caso extremo de alta potencia pico, por ejemplo aproximadamente 5 megavatios (MW) o mayor, el núcleo de vidrio sólido de la fibra de suministro puede destruirse.

25

Una solución conocida al problema es sustituir una fibra de núcleo hueco (HCF) para la fibra de núcleo de vidrio sólido. Una fibra de núcleo hueco es una fibra en la que la radiación se propaga principalmente en una región hueca central rodeada por material de revestimiento típicamente denominado como cristal fotónico o material de banda prohibida fotónica. El material de cristal fotónico está rodeado por material de revestimiento sólido. El material de cristal fotónico es una mezcla de regiones sólidas (vidrio) y regiones vacías (tubos que se extienden longitudinalmente) dispuestas en un patrón particular. Las fibras de núcleo hueco están comercialmente disponibles a partir de un número de suministradores e incluyen tipos denominados como fibras de banda prohibida fotónicas, fibras de malla Kagome, y fibras anti-resonantes. La Figura 1, la Figura 2, y la Figura 3 son micrográficos en sección transversal que ilustran esquemáticamente, respectivamente, ejemplos de estos tres tipos de fibra de núcleo hueco.

30

35

En una HCF, la radiación de láser se propaga principalmente en el aire, algún otro gas, o vacío, con únicamente una pequeña porción de luz de radiación que se propaga en vidrio. Debido a esto, los efectos no lineales anteriormente analizados pueden reducirse enormemente, y se mantiene una calidad de pulso alta a través de toda la propagación en la fibra. Esto posibilita el transporte de pulsos de picosegundos (ps) y femtosegundos (fs) de alta energía a través de la fibra con únicamente mínimo cambio a duración de pulso y forma de pulso.

40

En ciertas aplicaciones de radiación de láser pulsado, la radiación se entrega desde un plano polarizado de manera nominal de láser en una orientación preferida, y se desea que este estado de polarización se mantenga en el punto de uso después de que se transporte al mismo por una fibra de transporte. Un desafío particular en el uso de una HCF para transporte de radiación láser es conservar (mantener) la polarización de plano de la radiación de láser durante el transporte. Es posible mantener la orientación de polarización a través del transporte adaptando cuidadosamente orientaciones de polarización preferidas de la HCF. Desafortunadamente, estas orientaciones pueden rotar y cambiar durante la operación, realizando la realineación de la fuente de radiación y la HCF necesaria. Los parámetros que influyen la orientación de polarización incluyen temperatura de fibra, gradiente de temperatura y curvatura de fibra. La curvatura de fibra limita sustancialmente el uso de una HCF para transportar radiación de plano polarizado.

45

50

Mover la HCF o cambiar planos de curvatura rotará y cambiará el estado de polarización de la radiación de láser. Para aprovecharse de una HCF para el transporte de baja distorsión anteriormente descrito de pulsos de radiación de alta energía, se requiere un medio para conservar la radiación de plano polarizado en una salida de la fibra. La solicitud de patente de Estados Unidos con N.º de publicación US2005/259942 desvela métodos que incluyen dirigir radiación a una localización objetivo de un paciente a través de una fibra de cristal fotónico, teniendo la fibra de cristal fotónico un núcleo hueco y hacer fluir un fluido a través del núcleo hueco a la localización objetivo del paciente.

55

60

Sumario de la invención

En un aspecto, el aparato óptico de acuerdo con la presente invención comprende las características como se indican en la reivindicación 1.

65

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la memoria descriptiva, ilustran esquemáticamente una realización preferida de la presente invención, y junto con la descripción general anteriormente proporcionada y la descripción detallada de la realización preferida dada a continuación, sirven para explicar los principios de la presente invención.

La Figura 1 es un micrográfico de sección transversal que ilustra esquemáticamente un ejemplo de una fibra de núcleo hueco de tipo de banda prohibida fotónica.

La Figura 2 es un micrográfico de sección transversal que ilustra esquemáticamente un ejemplo de una fibra de núcleo hueco de tipo malla Kagome.

La Figura 3 es un micrográfico de sección transversal que ilustra esquemáticamente un ejemplo de una fibra de núcleo hueco de tipo anti-resonante.

La Figura 4 ilustra esquemáticamente una realización preferida del aparato de acuerdo con la presente invención para transportar radiación de plano polarizado a una localización de uso, que incluye una placa de cuarto de onda para convertir la radiación de plano polarizado a radiación polarizada de manera circular, una fibra de núcleo hueco dispuesta para transportar la radiación polarizada de manera circular a la localización de uso, otra placa de cuarto de onda en la localización de uso dispuesta para recibir radiación polarizada de manera circular desde la fibra de núcleo hueco y convertir la radiación polarizada de manera circular de vuelta a la radiación de plano polarizado, un polarizador, y un rotador de polarización dispuesto para rotar el plano de la radiación polarizada de plano convertido de vuelta a una orientación que se transmitirá de manera máxima por el polarizador.

La Figura 5 es un gráfico que ilustra esquemáticamente fracción calculada de radiación transmitida por el polarizador de la Figura 4 como una función de rotación de polarización introducida en la radiación por la fibra de núcleo hueco, con y sin las placas de cuarto de onda de conversión de polarización y el rotador de polarización de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Volviendo ahora a los dibujos, la Figura 4 ilustra esquemáticamente una realización 10 del aparato de acuerdo con la presente invención para transportar radiación de plano polarizado desde una fuente del mismo a una localización de uso. La radiación de plano polarizado desde la fuente se transmite a través de la placa 12 de cuarto de onda, que convierte la radiación de plano polarizado, preferentemente, a radiación polarizada de manera circular.

Una fibra de núcleo hueco (HCF) 16, en este punto, terminada en cada extremo de la misma por los casquillos 18, está dispuesta para transportar la radiación polarizada de manera circular a la localización de uso 20. La radiación polarizada de manera circular que sale de la HCF 16 se transmite a través de una placa 22 de cuarto de onda en la localización de uso. La placa 22 de cuarto de onda está dispuesta para convertir la radiación polarizada de manera circular de la fibra de núcleo hueco de vuelta a radiación de plano polarizado de manera nominal.

La radiación de plano polarizado entregada desde la placa 22 de cuarto de onda puede tener un grado menor de polarización de plano (relación de extinción), y en cierto modo diferente orientación de polarización, que la de la radiación de plano polarizado de la fuente de la misma. Esto sería debido a artefactos introducidos por la HCF debido a curvaturas, tensiones, imperfecciones y similares. Por consiguiente, la radiación transmitida por la placa 22 de cuarto de onda se transmite en primer lugar a través de un rotador de polarización 24, tal como una placa de mitad de onda, y a continuación a través de un polarizador 26, en este punto, un reflector de polarización selectiva en forma de un bi-prima de MacNeille. El rotador de polarización 24 está dispuesto para rotar el plano de la radiación de plano polarizado convertida hacia atrás a una orientación que se transmitirá de manera máxima por el polarizador 26. El polarizador rechaza cualesquiera componentes polarizados de otra manera residuales de la radiación de plano polarizado de manera nominal como se indica por la flecha R.

Debería observarse en este punto que mientras que la HCF 16 se representa en la Figura 4 como que es relativamente corta en la práctica, la HCF tendrá típicamente una longitud de varios metros (m). En disposiciones de la técnica anterior, en las que la luz de plano polarizado se dirige a una HCF sin un cambio de estado de polarización, y sale del plano polarizado de HCF pero en una orientación impredecible, una placa de media onda podría rotarse para maximizar la transmisión a través del polarizador, es decir, para alinear la orientación de polarización de radiación entregada con la definida por el polarizador. Sin embargo, factores tales como el movimiento de la fibra en uso, o cambio en la temperatura de la fibra en uso cambiarán la orientación (rotación) de la polarización de plano de salida resultante en la fluctuación de la salida del polarizador. En el aparato inventivo de la Figura 4, la orientación de la radiación de plano polarizado entregada a la placa 24 de media onda se determina principalmente por la placa 22 de cuarto de onda.

La Figura 5 es un gráfico que ilustra esquemáticamente la transmisión normalizada del polarizador 26 como una función de rotación de polarización en la HCF 16 para la disposición inventiva de la Figura 4 (curva en línea continua), y para una disposición de la técnica anterior en la que se omiten las placas 12 y 22 de cuarto de onda, y la rotación de plano polarizado se dirigen en, y se entrega desde la HCF (curva de línea discontinua). Se supone que la placa 24 de media onda se ajusta inicialmente (a rotación cero) para transmisión máxima a través del polarizador y no se reajusta como rotación de polarización por los cambios de HCF. Puede observarse que para el caso de la técnica anterior, la transmisión cae del 100 % a cero para un cambio en rotación de polarización de únicamente $0,5 \text{ Pi}$ ($\pi/2$). Esto no es una ocurrencia improbable en una HCF de varios metros de longitud. Para la disposición inventiva la transmisión calculada permanece igual independientemente de la rotación de polarización.

En experimentos con la disposición inventiva, se empleó una HCF de tipo malla de Kagomé que tiene un diámetro de núcleo hueco de aproximadamente 55 micrómetros (μm) y una longitud de aproximadamente 3 metros. La HCF se bobinó en diámetros que variaban entre 50 centímetros (cm) y 100 cm, con radiación polarizada de manera circular lanzada en la fibra como se representa en la Figura 4, se halló que el movimiento de la fibra provocaba salida del polarizador que variaba entre un máximo y aproximadamente el 85 % de ese valor máximo.

Debería observarse en este punto que mientras se ha descrito anteriormente la conversión de la luz de plano polarizado a luz polarizada de manera circular, la luz de plano polarizado puede convertirse a algún otro estado de polarización que no es de plano polarizado. Si la radiación transportada por la fibra puede usarse sin reconversión a la polarización de plano, entonces la polarización de plano puede convertirse a cualquier estado que pueda transportarse por la HCF y es relativamente insensible a cambios en la curvatura de fibra, temperatura de fibra o gradientes de temperatura. Tales estados incluyen polarizado de manera circular, polarizado de manera elíptica, mientras que polarizado de manera acimutal no es parte de la invención. La radiación polarizada de manera circular y elíptica se convierte fácilmente de vuelta a la radiación de plano polarizado por una segunda placa de onda fraccional, como se ha analizado anteriormente.

Además, debería observarse que la expresión plano polarizado no debería interpretarse como que significa de manera precisa de plano polarizado. En general toda la radiación que es de plano polarizado de manera nominal en una dirección puede incluir una cantidad relativamente pequeña de algún componente que está polarizado a 90 grados en esa dirección. La relación de ese componente al componente nominal se denomina por los profesionales de la técnica como la relación de extinción. En el esquema anterior, la radiación de plano polarizado de manera nominal preferentemente tiene una relación de extinción no mayor que aproximadamente el 10^{-1} y más preferentemente no mayor que aproximadamente el 10^{-2} .

La presente invención se ha descrito anteriormente en términos de una realización preferida y otras. La invención no está limitada, sin embargo, a las realizaciones descritas y representadas. En su lugar la invención está limitada únicamente mediante las reivindicaciones adjuntas a la misma.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) óptico, que comprende:

5 una fuente de radiación láser de plano polarizado; una fibra (16) óptica de núcleo hueco para transportar la radiación desde la fuente a un punto (20) de uso, teniendo la fibra (16) óptica un extremo de entrada y un extremo de salida; y
un primer elemento (12) óptico entre la fuente y el extremo de entrada de la fibra óptica, el elemento configurado y dispuesto para convertir la radiación de plano polarizado a radiación que está polarizada de manera elíptica para transporte a través de la fibra (16) óptica; **caracterizado por que** comprende adicionalmente un segundo elemento (22) óptico entre el extremo de salida de la fibra (16) óptica y el punto (20) de uso, el segundo elemento óptico configurado para convertir la radiación transportada de manera elíptica polarizada de vuelta a la radiación de plano polarizado; y un rotador (24) de polarización entre el segundo elemento óptico y el punto (20) de uso, para rotar el plano de polarización de la radiación de plano polarizado convertida a un plano de polarización deseado.

2. El aparato de la reivindicación 1, donde la radiación polarizada de manera elíptica es sustancialmente polarizada de manera circular.

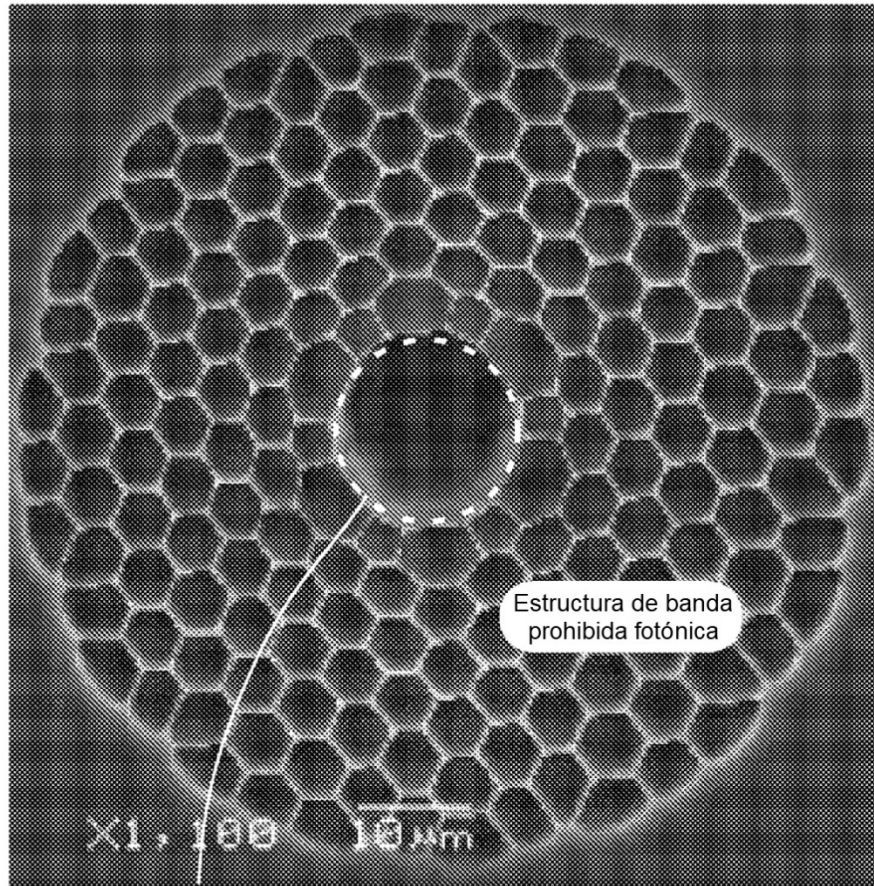
20 3. El aparato de la reivindicación 1, que incluye adicionalmente un polarizador entre el rotador (24) de polarización y el punto (20) de uso.

4. El aparato de la reivindicación 3, donde el rotador de polarización es una placa (24) de media onda y el polarizador es un reflector de polarización selectiva.

25 5. El aparato de la reivindicación 4, donde, el reflector de polarización selectiva es un bi-prisma de MacNeille.

6. El aparato de la reivindicación 1, donde la fibra (16) de núcleo hueco es una de un tipo de banda prohibida fotónica, un tipo de malla de Kagome y un tipo anti-resonante.

30



Núcleo hueco

FIG. 1
(Técnica anterior)

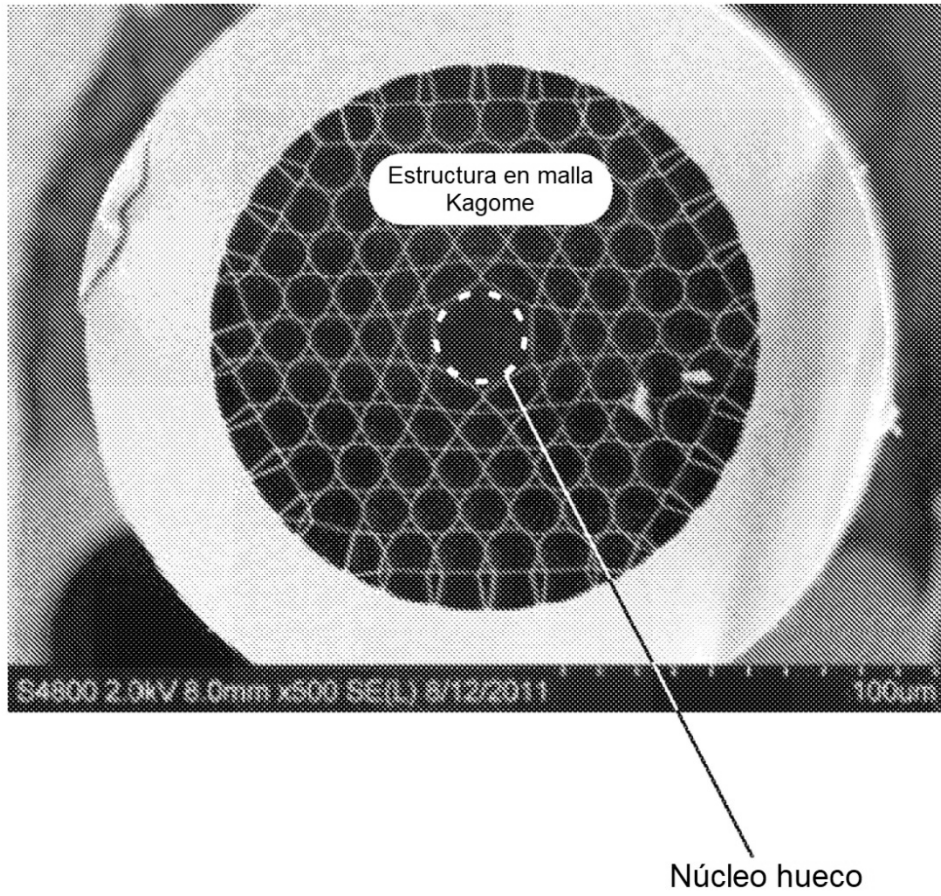


FIG. 2
(Técnica anterior)

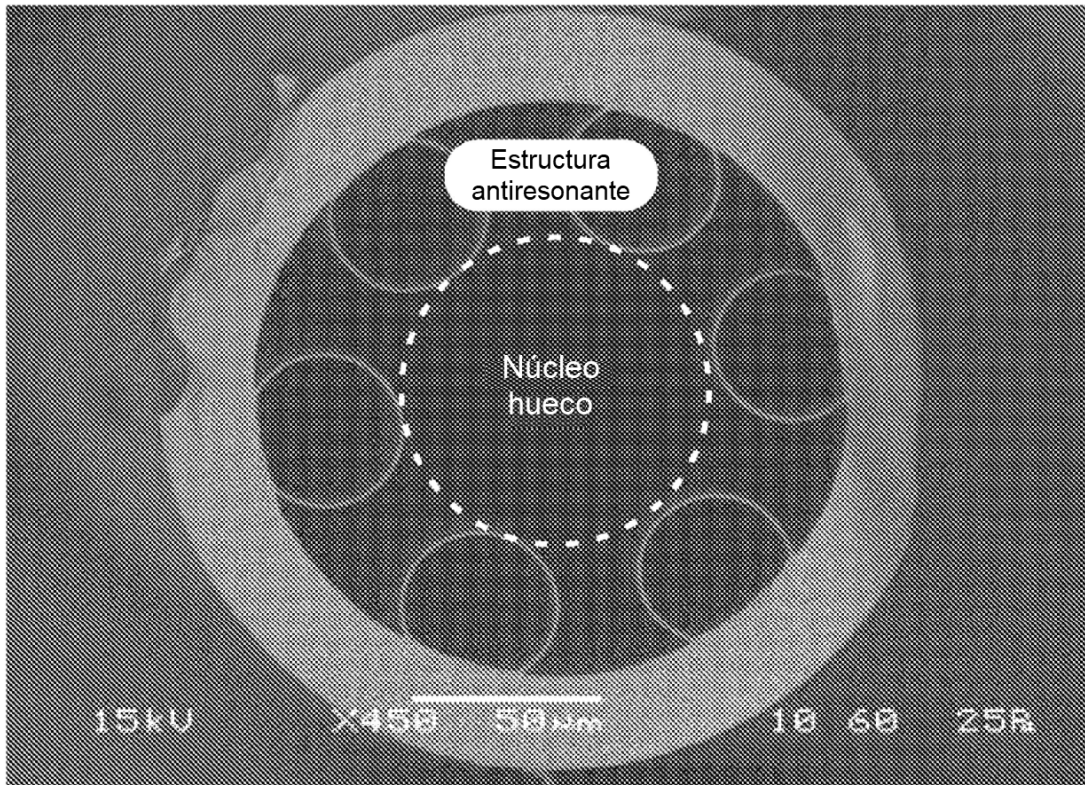


FIG. 3
(Técnica anterior)

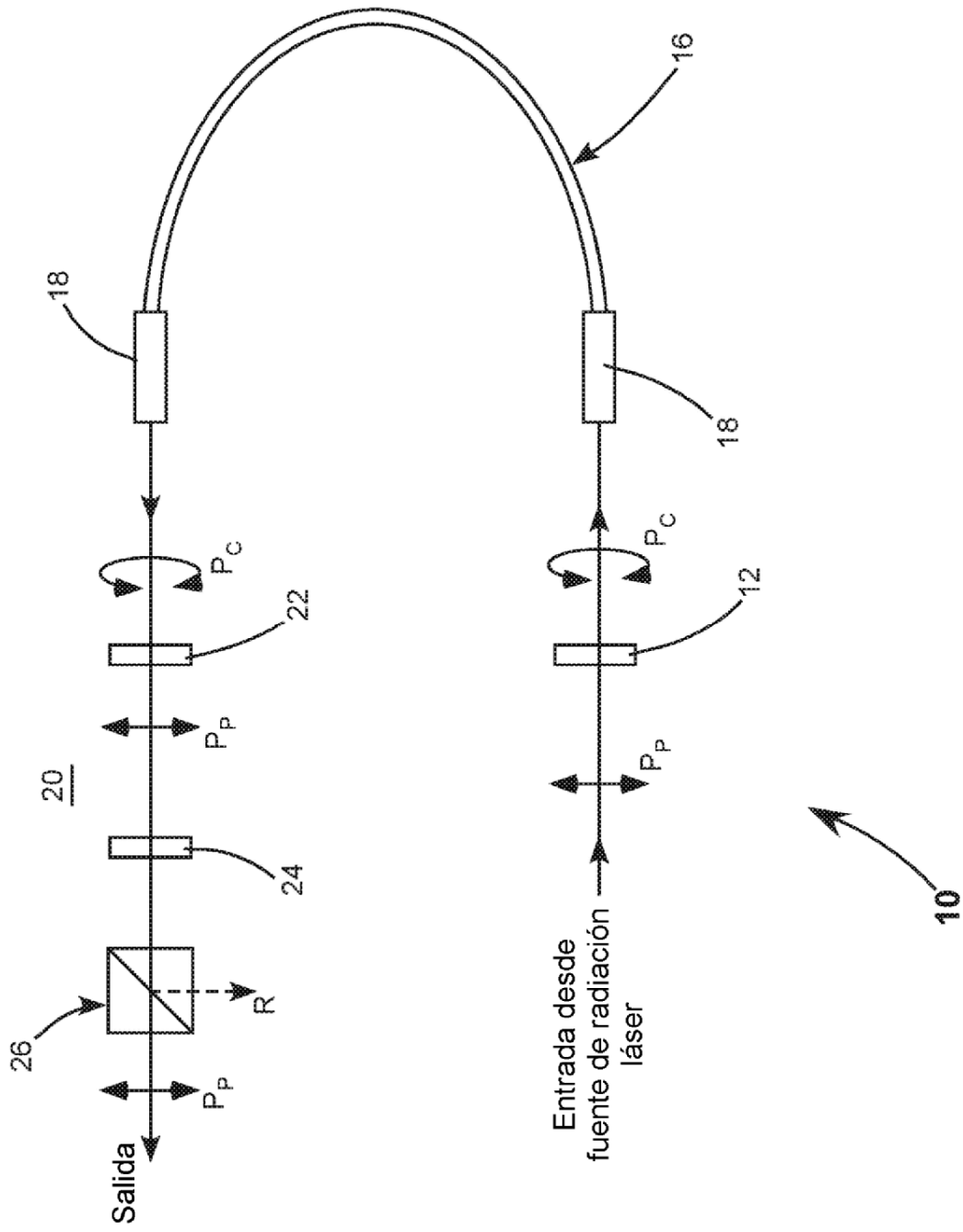


FIG. 4

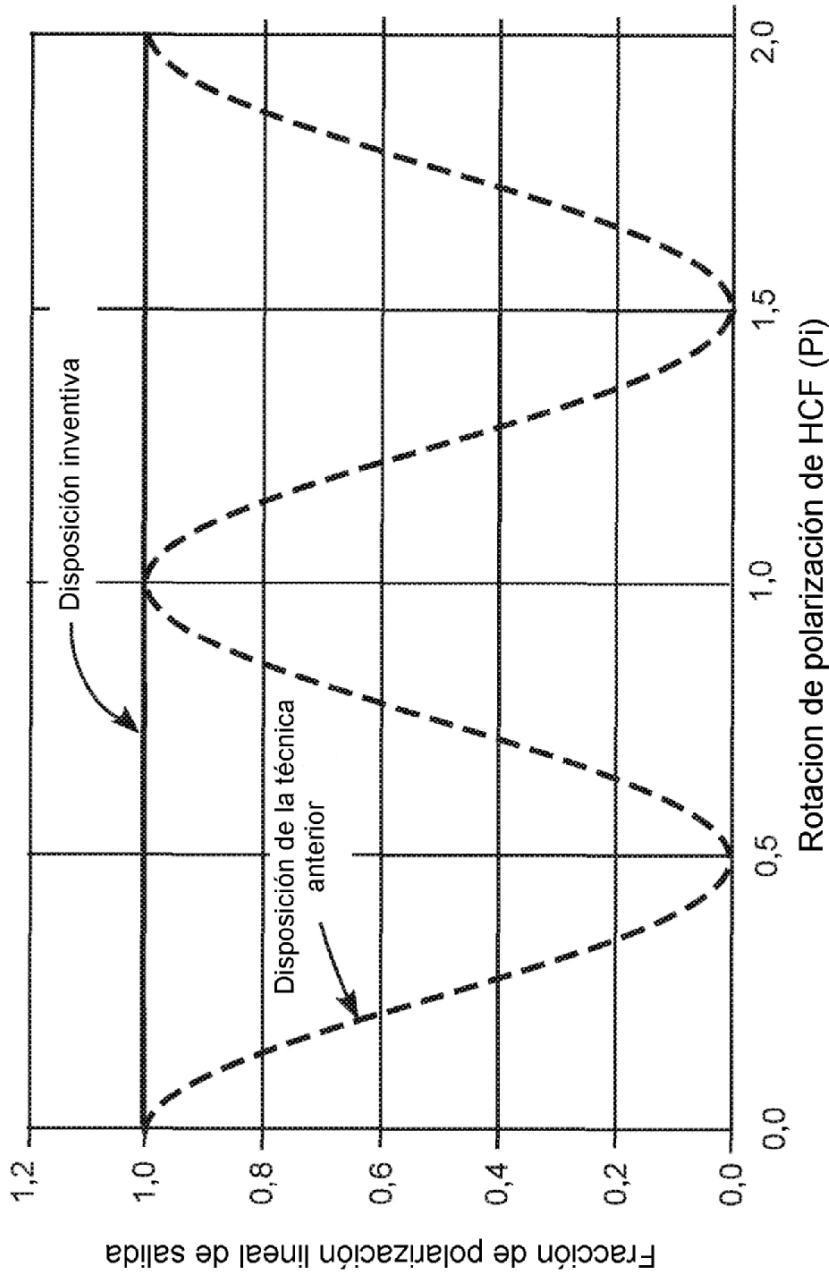


FIG. 5