

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 868**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/291**

(2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.03.2011** **E 11860237 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2015** **EP 2681814**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la amplificación de ondas de señal ópticas guiadas en una fibra óptica de varios núcleos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.09.2015**

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT DORTMUND  
(100.0%)  
August-Schmidt-Str. 4  
44227 Dortmund, DE**

72 Inventor/es:

**KRUMMRICH, PETER**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 545 868 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

Procedimiento y dispositivo para la amplificación de ondas de señal ópticas guiadas en una fibra óptica de varios núcleos

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la amplificación de ondas de señal ópticas guiadas en una primera fibra óptica de varios núcleos, comprendiendo la primera fibra óptica de varios núcleos, varios núcleos con una separación de núcleo predeterminada y una geometría predeterminada de los núcleos entre sí y siendo capaz de propagarse en cada núcleo al menos un modo de onda de señal y amplificándose cada onda de señal en una fibra óptica con efecto de amplificación bombeada ópticamente.

10 La invención se refiere por lo tanto a un procedimiento y a un dispositivo, que se utilizan en la tecnología de las comunicaciones en el caso de sistemas de transmisión ópticos, en los que se comunican informaciones como ondas de señal de luz a través de fibras ópticas entre un emisor óptico y un receptor óptico. Las fibras ópticas son en este caso todo tipo de sistemas ópticos que son adecuados para propagar una onda de señal de luz entre los extremos de una fibra óptica de este tipo en el medio conductor de luz, particularmente mediante el principio físico de la reflexión total. Este tipo de fibras ópticas también se denominan como cables de fibra óptica.

15 Tanto las velocidades de transmisión de datos generales alcanzables, como también las distancias superables, están limitadas. Para el aumento de las velocidades de transmisión de datos, se desarrollaron fibras ópticas con las que se transmiten en una configuración con fibras ópticas de un núcleo, ondas de señal con varias longitudes de onda diferentes y/o varios modos transversales al mismo tiempo dentro de un núcleo. En otra configuración se desarrollaron fibras ópticas de varios núcleos, en las que en cada núcleo es capaz de propagarse al menos un modo de onda de señal. En este caso, también pueden superponerse en cada uno de los núcleos varias ondas de señal con diferentes longitudes de onda según el principio de multiplexión de longitudes de onda.

20 Las fibras ópticas de varios núcleos presentan en este caso habitualmente una geometría hexagonal de los núcleos individuales entre sí, estando dispuestos en la configuración más sencilla seis núcleos adicionales alrededor de un núcleo central, resultando de esta manera 7 núcleos. También se conocen fibras ópticas de varios núcleos con 19, 37 o más núcleos. Con este tipo de fibras ópticas de varios núcleos pueden lograrse de esta manera velocidades de transmisión de datos generales mayores, que con fibras ópticas de un núcleo, aunque son más complejas de manejar.

25 Todas las fibras ópticas presentan una atenuación, de manera que para la superación de distancias muy grandes, tienen que utilizarse amplificadores. En el caso de fibras ópticas de un núcleo, es conocido utilizar fibras ópticas de un núcleo con efecto de amplificación bombeadas ópticamente, cuyo núcleo presenta propiedades de amplificación con efecto láser o con efecto Raman.

30 Las fibras ópticas con efecto láser son por ejemplo, aquellas con una dotación de erbio en las ondas de señal de luz utilizadas habitualmente en el rango de longitud de onda de alrededor de 1550 nm, que pueden manejarse con ondas de luz de bombeo de 980 nm y/o 1480 nm. Para este propósito es conocido acoplar una onda de luz de bombeo producida por ejemplo, por un diodo láser junto con la onda de señal que ha de amplificarse, en una fibra óptica con efecto de amplificación de este tipo.

35 Esto se lleva a cabo por ejemplo, mediante elementos de fibra óptica con los que pueden transmitirse las ondas que inicialmente se propagan respectivamente en fibras ópticas de un núcleo separadas, al núcleo de una fibra óptica de un núcleo con efecto de amplificación entonces común. Este tipo de elementos pueden estar configurados como los llamados acopladores por fusión o como disposiciones de haz libre microóptico. Con estos elementos ya puede lograrse con rendimientos de bombeo reducidos una inversión de ocupación con efecto láser.

40 Para el propósito de la amplificación de ondas de señal en fibras ópticas de varios núcleos, no existen técnicas establecidas. En este caso existe el problema significativo, de lograr por ejemplo, la suficiente inversión de ocupación en el caso de fibras ópticas con efecto láser mediante bombeo óptico, que depende del principio de la conducción de ondas de bombeo en la fibra de varios núcleos.

45 Se ha propuesto un principio en el que se acopla una onda de bombeo en un revestimiento interior con efecto de amplificación, de una fibra óptica de varios núcleos de doble revestimiento (*double-cladding*). En el caso de este principio se requieren no obstante, rendimientos de bombeo considerablemente mayores por cada núcleo, que en el caso de la amplificación en una fibra óptica de un núcleo. Podría alcanzarse por el contrario una inversión de ocupación suficiente, cuando por ejemplo, en cada uno de los núcleos de una fibra óptica de varios núcleos pudiese acoplarse una onda de bombeo, y este correspondiente núcleo fuese con efecto de amplificación, es decir, fuese con efecto láser o con efecto Raman. No existen no obstante hasta ahora, técnicas para el acoplamiento de ondas de bombeo en cada uno de los núcleos de una fibra óptica de varios núcleos.

Del documento US-A-2011/032604 se conoce un procedimiento de amplificación según el estado de la técnica.

Es por lo tanto tarea de la invención, poner a disposición un procedimiento y un dispositivo, con los que pueda lograrse una amplificación con una alta eficiencia de ondas de señal que se propagan en fibras ópticas de varios núcleos. Es también particularmente una tarea de la invención, descubrir una posibilidad de acoplar ondas de bombeo en cada núcleo de una fibra óptica de varios núcleos con efecto de amplificación, configurándose en cada uno respectivamente los núcleos con efecto amplificación, dado que debido a ello resultarían con fibras ópticas de un núcleo condiciones de amplificación comparables.

Según el procedimiento según la invención, esta tarea se soluciona debido a que en el procedimiento conforme al orden nombrado inicialmente, se lleva a cabo una primera transformación de campo óptica, en la que se desacopla cada onda de señal de un correspondiente núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos y se amplía la separación espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos entre sí frente a la distancia de núcleo predeterminada de la primera fibra óptica de varios núcleos y se lleva a cabo una segunda transformación de campo óptica, particularmente inversa a la primera, en la que se reduce la separación ampliada espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos a una separación de núcleo predeterminada de una segunda fibra óptica de varios núcleos y cada onda de señal se acopla en el correspondiente núcleo de esta segunda fibra óptica de varios núcleos, superponiéndose coaxialmente entre la primera y la segunda transformación de campo óptica cada onda de señal de cada uno de los núcleos con una onda de bombeo suministrada individualmente para cada núcleo.

Con un dispositivo según la invención se soluciona análogamente la tarea debido a que el dispositivo comprende un primer elemento óptico transformador de campo, mediante el cual puede desacoplarse cada onda de señal de un correspondiente núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos y mediante el cual puede ampliarse la separación espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos entre sí frente a la separación de núcleo predeterminada de la primera fibra óptica de varios núcleos, y comprende un segundo elemento óptico transformador de campo, que funciona particularmente de manera inversa con respecto al primero, mediante el cual puede reducirse la separación ampliada espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos a una separación de núcleo predeterminada de una segunda fibra óptica de varios núcleos y con el que puede acoplarse cada onda de señal en el correspondiente núcleo de esta segunda fibra óptica de varios núcleos, superponiéndose coaxialmente entre el primer y el segundo elemento óptico de transformación de campo, cada onda de señal de cada uno de los núcleos con una onda de bombeo suministrada individualmente para cada núcleo.

Con núcleos correspondientes de la primera y de la segunda fibra óptica de varios núcleos, se entiende en este caso, que se asigna a cada núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos exactamente un núcleo de la segunda fibra óptica de varios núcleos, transmitiéndose de esta manera por lo tanto las ondas de señal entre núcleos correspondientes.

La idea principal esencial de la invención, se encuentra en que en el caso de cables de fibra óptica de varios núcleos, la separación entre los correspondientes núcleos, y con ello también entre las correspondientes ondas de señal de diferentes núcleos, es de unos pocos micrómetros (por ejemplo, 20 micrómetros), y según la invención, esta separación entre las ondas de señal se amplía frente a la separación del núcleo en la fibra óptica de varios núcleos, de modo que estas ondas de señal pueden manejarse más fácilmente debido a las separaciones entre sí y en el caso de esta separación ampliada, las ondas de señal de cada uno de los núcleos pueden superponerse de manera comparativamente sencilla con una onda de bombeo suministrada individualmente para cada núcleo.

Entre la primera y la segunda transformación nombradas inicialmente, hay según la invención una zona de propagación, en la que las ondas de señal de los diferentes núcleos se propagan por una separación mayor entre sí, que en el caso de en el interior de una fibra óptica de varios núcleos. Delante y detrás de esta zona de propagación, las ondas de señal se conducen no obstante, respectivamente en una fibra óptica de varios núcleos, que son idénticas entre sí.

La zona de propagación nombrada con la separación ampliada entre las ondas de señal, puede estar realizada en este caso dentro de varias fibras ópticas, particularmente dentro de varias fibras ópticas de un núcleo, cuya cantidad se corresponde con la cantidad de los núcleos de la primera y/o de la segunda fibra óptica de varios núcleos, pero también como una zona de propagación libre en el aire o en un medio predeterminado preferiblemente gaseoso, propagándose éstas en el caso de una propagación de haz libre de las ondas de señal, preferiblemente de manera paralela entre sí, particularmente en una disposición geométrica entre sí, que se corresponde con la disposición geométrica de los núcleos de la primera y/o de la segunda fibra óptica de varios núcleos.

La separación entre las ondas de señal de los diferentes núcleos de la primera fibra óptica de varios núcleos puede ser básicamente cualquiera en la zona de propagación nombrada entre la primera y la segunda transformación de campo, siempre y cuando solo sea mayor que la separación de los núcleos de esta fibra óptica de varios núcleos.

Puede elegirse preferiblemente una separación que resulte durante una propagación de las ondas de señal en fibras ópticas de un núcleo, cuando estas fibras ópticas de un núcleo están dispuestas unas junto a otras en la misma configuración geométrica que se corresponde con la configuración geométrica de los varios núcleos de la primera y/o de la segunda fibra óptica de varios núcleos. La separación entre sí puede venir dada entonces esencialmente por el diámetro exterior de una correspondiente fibra óptica de un núcleo.

Alternativamente, la separación puede venir dada por el diámetro de elementos ópticos de reproducción, como por ejemplo, lentes de índice de gradiente o mediante los diámetros de haz necesarios para una conducción de haz paralela por una distancia deseada sin una influencia notable de efectos de difracción o sin una expansión de haz no deseada.

- 5 Durante la superposición de cada onda de señal de un núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos, con una onda de bombeo asociada al correspondiente núcleo dentro de la zona de propagación nombrada anteriormente con separaciones ampliadas de las ondas de señal entre sí, esta superposición puede producirse de tal manera, que la correspondiente onda de bombeo se propague en la misma dirección que la onda de señal, es decir, en paralelo o en la dirección contraria, es decir, de manera antiparalela.
- 10 En las dos configuraciones puede estar previsto que se produzca una amplificación de la correspondiente onda de señal ya dentro de la zona de propagación nombrada, por ejemplo, cuando en esta zona de propagación hay dispuesto entre la primera y la segunda transformación ya al menos un medio de amplificación, que es atravesado por la onda de señal y la onda de bombeo y en este caso es bombeado ópticamente por la onda de bombeo.
- 15 También puede estar previsto, que en una superposición paralela coaxial entre onda de señal y de bombeo, la segunda fibra óptica de varios núcleos o una fibra óptica de varios núcleos que le sigue, se configure como fibra óptica de varios núcleos bombeada ópticamente con núcleos con efecto de amplificación, particularmente con núcleos dopados de erbio con efecto láser o también núcleos con efecto Raman.
- 20 En este caso, la segunda transformación de campo actúa debido a la coaxialidad entre la onda de señal y la onda de bombeo, tanto sobre la correspondiente onda de señal, como también sobre la onda de bombeo correspondientemente superpuesta, de manera que debido a esta segunda transformación de campo se acoplan en la propagación paralela una correspondiente onda de señal junto con la onda de bombeo superpuesta en el núcleo asociado de la segunda fibra óptica de varios núcleos.
- 25 En esta configuración, la segunda fibra óptica de varios núcleos guía entonces en cada uno de sus núcleos al menos una onda de señal y al menos una onda de bombeo. Esta segunda fibra óptica de varios núcleos o una fibra óptica de varios núcleos que le sigue en dirección de propagación, puede presentar entonces núcleos con efecto de amplificación, que se bombean ópticamente mediante la onda de bombeo correspondiente y ampliando de esta manera la onda de señal que pasa correspondientemente.
- 30 En el caso de una superposición antiparalela coaxial frente a ello, también puede estar previsto, que la primera fibra óptica de varios núcleos o una fibra óptica de varios núcleos dispuesta antes de ésta en dirección de propagación, se configure como fibra óptica de varios núcleos bombeada ópticamente con núcleos con efecto de amplificación, particularmente configurada con núcleos con efecto Raman o con núcleos dopados de erbio con efecto láser.
- 35 En el caso de una disposición de este tipo, la onda de bombeo asociada respectivamente a un núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos transcurre según esto en contra de la al menos una onda de señal del correspondiente núcleo, de manera que la primera transformación de campo que actúa sobre una onda de señal, actúa de manera inversa sobre la onda de bombeo, acoplándose debido a ello la onda de bombeo en el correspondiente núcleo asociado de la fibra óptica de varios núcleos, en el lugar en el que se desacopla la onda de señal.
- 40 De esta manera, la al menos una onda de señal y la onda de bombeo acoplada transcurren una contra la otra en cada núcleo en la primera fibra óptica de varios núcleos y puede llevarse a cabo una amplificación en la primera fibra óptica de varios núcleos, cuando ésta presenta núcleos con efecto de amplificación o en una fibra óptica de varios núcleos prevista para la amplificación dispuesta anteriormente en dirección de propagación. En esta realización solo se acopla entonces en la segunda fibra óptica de varios núcleos, que sigue tras la segunda transformación de campo en dirección de propagación, respectivamente la onda de señal ya amplificada, pero no la onda de bombeo.
- 45 Independientemente de los principios de amplificación descritos anteriormente y de las conducciones de las ondas de bombeo unidas con ello, puede estar previsto en todas las realizaciones, que en el caso de la primera transformación de campo, cada onda de señal de un correspondiente núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos se traslade a correspondientemente una fibra óptica de un núcleo individual asociado al correspondiente núcleo, correspondiéndose particularmente la disposición geométrica de las fibras ópticas de un núcleo individuales entre sí, con la disposición geométrica de los núcleos de la primera fibra óptica de varios núcleos, particularmente a excepción de una escalada de la separación y trasladándose en el caso de la segunda transformación de campo,
- 50 cada onda de señal que se propaga en una fibra óptica de un núcleo de la fibra óptica de un núcleo a un núcleo asociado de la segunda fibra óptica de varios núcleos, correspondiéndose particularmente la disposición geométrica de las fibras ópticas de un núcleo entre sí, con la disposición geométrica de los núcleos de la segunda fibra óptica de varios núcleos. De manera particularmente preferida, se configuran en este caso las primeras y segundas fibras ópticas de varios núcleos de manera idéntica entre sí, particularmente en lo que se refiere a las separaciones entre
- 55 los núcleos, el diámetro de los núcleos, revestimiento, etc.

- Para llevar a cabo la primera y/o la segunda transformación de campo nombradas anteriormente, puede estar prevista la utilización de un elemento óptico transformador de campo, que está configurado por ejemplo, como fibra óptica de transición, en el que un extremo se corresponde con una fibra óptica de varios núcleos, y el otro extremo se corresponde con varias fibras ópticas de un núcleo, estando asociada cada fibra óptica de un núcleo exactamente a un núcleo de la fibra óptica de varios núcleos, y correspondiéndose la disposición geométrica de las varias fibras ópticas de un núcleo con aquella disposición geométrica de los varios núcleos de la fibra óptica de varios núcleos. Con un elemento óptico de este tipo, puede llevarse a cabo dependiendo de la dirección de propagación, la primera o la segunda transformación de campo, de manera que pueden utilizarse para el propósito de estas transformaciones de campo, elementos ópticos idénticos entre sí.
- 5 Resulta la ventaja adicional, de que la separación entre los núcleos de los extremos de la fibra óptica de un núcleo se corresponde en el caso de un elemento óptico de este tipo, particularmente de fibra óptica, particularmente con el diámetro de una correspondiente fibra óptica de un núcleo en ese extremo, de manera que de esta forma puede producirse la modificación de la separación deseada entre las ondas de señal de los diferentes núcleos de la fibra óptica de varios núcleos en ambas direcciones de manera ideal.
- 10 Otra ventaja adicional resulta cuando el manejo de las ondas de señal, particularmente la superposición con ondas de bombeo, ha de producirse en la zona de propagación entre la primera y la segunda transformación de campo dentro de fibras ópticas, dado que al utilizar estos elementos ópticos, que también pueden denominarse como fibras de transición o fibras ópticas de transición, las correspondientes ondas de señal ya se conducen en fibras ópticas de un núcleo, que están configuradas en uno de los dos extremos de un elemento de este tipo.
- 15 Para el manejo de las ondas de señal, particularmente su superposición con ondas de bombeo durante una propagación de campo libre, las ondas de señal han de desacoplarse tras la primera transformación de campo de un elemento óptico que lleva a cabo esta transformación y en este caso correspondientemente de manera preferida paralelizarse y acoplarse respectivamente antes de la segunda transformación de campo en el elemento que lleva a cabo esta segunda transformación.
- 20 En otro manejo de las ondas de señal dentro de la zona de propagación nombrada anteriormente, entre las transformaciones de campo en fibras ópticas, según la invención puede superponerse entre la primera y la segunda transformación de campo, cada onda de señal de una fibra óptica de un núcleo en una fibra óptica de un núcleo con una onda de bombeo, que se suministra con una fibra óptica de un núcleo. Una superposición de este tipo puede producirse por ejemplo, mediante un correspondiente llamado acoplador por fusión o un correspondiente acoplador de haz libre microóptico, en este caso también pueden superponerse ondas de bombeo y ondas de señal en paralelo o de manera antiparalela.
- 25 La amplificación puede producirse entonces por ejemplo, directamente en la zona de propagación entre las dos transformaciones dentro de la correspondiente fibra óptica de un núcleo en la que están superpuestas la onda de señal y la onda de bombeo, cuando el núcleo de esta fibra óptica de un núcleo ya está configurado con efecto de amplificación. Si por el contrario este no es el caso, entonces la amplificación se produce en la segunda, o dependiendo de la dirección de propagación de las ondas de bombeo, en la primera fibra óptica de varios núcleos, como se ha descrito anteriormente, una vez que se ha acoplado la correspondiente onda de bombeo o bien con la segunda transformación o con la primera inversa en un correspondiente núcleo de la fibra óptica de varios núcleos.
- 30 En la propagación de campo libre alternativa de las ondas de señal en la zona de propagación entre la primera y la segunda transformación de campo, puede estar previsto preferiblemente, superponer una correspondiente onda de señal de un correspondiente núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos, mediante un elemento óptico de combinación de haces, con la correspondiente onda de bombeo asociada al correspondiente núcleo, de manera paralela o antiparalela. Para ello puede utilizarse por ejemplo, un espejo dicróico o también un llamado cubo divisor de haz.
- 35 Un espejo dicróico puede utilizarse por ejemplo de tal manera, que éste actúa a modo de transmisor para todas las ondas de señal y de manera reflectiva para las correspondientes ondas de bombeo, de manera que las ondas de bombeo pueden acoplarse por reflexión óptica en la superficie del espejo, en el trayecto óptico de las ondas de señal y propagarse en este caso respectivamente de manera coaxial con respecto a la onda de señal. El espejo dicróico puede reflejar alternativamente las ondas de señal y dejar pasar las ondas de bombeo en transmisión. La elección, sobre qué tipo de ondas puede superponerse en reflexión con las otras ondas, puede llevarse a cabo por ejemplo, en dependencia de la atenuación de inserción que experimentan las ondas durante la transmisión mediante el elemento de combinación de haces.
- 40 Para ello está previsto preferiblemente, desacoplar tras la primera transformación de campo cada onda de señal de cada fibra óptica de un núcleo, que está formada por uno de los extremos del elemento óptico nombrado anteriormente, de la fibra óptica de un núcleo y paralelizarla en este caso, y tras atravesar el recorrido de propagación nombrado, volver a acoplar antes de la segunda transformación de campo cada onda de señal paralelizada en una fibra óptica de un núcleo asociado, en uno de los extremos del otro elemento óptico, que provoca la segunda transformación.
- 45
- 50
- 55

Para el fin del desacoplamiento y el paralelizado, así como para el acoplamiento de las ondas de señal paralelizadas, puede utilizarse respectivamente una lente, particularmente una lente de gradiente. La cantidad de las lentes utilizadas se corresponde de esta manera con las cantidades de los núcleos de la primera y/o segunda fibra óptica de varios núcleos, correspondiéndose la disposición de las lentes entre sí, igualmente a la geometría de los núcleos de la primera/segunda fibra óptica de varios núcleos.

Ventajosamente se pone a disposición una cantidad de ondas de bombeo que se corresponde con la cantidad de núcleos de la primera fibra óptica, mediante respectivamente una fibra óptica de un núcleo, siendo idéntica la geometría de la fibra óptica de un núcleo de las ondas de bombeo con la geometría de las fibras ópticas de un núcleo de las ondas de señal.

A partir de estas fibras ópticas de un núcleo se desacoplan y se paralelizan las ondas de bombeo respectivamente mediante la misma disposición de lentes que también se utiliza durante el acoplamiento/desacoplamiento de las ondas de señal, de manera que las varias ondas de bombeo transcurren paralelas entre sí y en la misma disposición geométrica entre sí, particularmente en disposición hexagonal en paralelo entre sí, como las ondas de señal. Las varias ondas de bombeo pueden ajustarse por lo tanto como un único haz debido a su disposición definida y fija entre sí, mediante elementos de ajuste (espejos, etc.).

En este caso, puede estar previsto en una realización, que cada onda de bombeo que se suministra para la superposición con una fibra óptica de un núcleo separada, se produzca con una fuente de luz de bombeo separada, por ejemplo, un diodo láser. Si una fuente de luz de bombeo produce un rendimiento de bombeo mayor del necesario para una única onda de bombeo, entonces también puede estar previsto, descomponer la luz producida en total por una fuente de luz de bombeo, en varias, al menos dos ondas de luz de bombeo, esto puede producirse por ejemplo, con elementos de fibra óptica. Así pueden producirse de esta manera, por ejemplo, las ondas de bombeo de al menos dos fibras ópticas de un núcleo mediante una fuente de luz de bombeo común. Si el rendimiento de partida es lo suficientemente alto, entonces pueden producirse eventualmente todas las ondas de luz de bombeo de las fibras ópticas de un núcleo puestas a disposición, mediante una única fuente de luz de bombeo común.

Puede estar prevista además, la utilización dentro del recorrido de la propagación libre entre la primera y la segunda transformación de campo, adicionalmente al elemento óptico de combinación de haces, de al menos otro elemento óptico, como por ejemplo, un aislador óptico, elementos de acoplamiento y/o desacoplamiento para el control/supervisión de haces, un dispositivo para la medición del rendimiento de ondas de señal y/o de bombeo, etc.

En las siguientes figuras se representan ejemplos de realización de la invención. Muestran:

La figura 1: una superposición paralela de ondas de señal y de bombeo en propagación de campo libre;

la figura 2: una superposición antiparalela de ondas de señal y de bombeo en propagación de campo libre;

la figura 3: la superposición de onda de bombeo y de señal en una fibra óptica de un núcleo;

La figura 1 muestra una forma de realización posible de la invención, en la que hay dispuestos en una primera fibra óptica de varios núcleos 1, a modo de ejemplo y sin limitación de la invención, siete núcleos 1' individuales de geometría hexagonal entre sí, que guían respectivamente al menos una onda de señal. Eventualmente pueden haber superpuestas mediante multiplexión de longitud de ondas, varias ondas de señal con diferentes longitudes de onda en cada uno de los núcleos 1'. En esta figura 1 la dirección de propagación de las ondas de señal es de izquierda a derecha, como se indica mediante la flecha S.

Mediante una fibra óptica de transición 2 se lleva cabo la primera transformación de campo FT1 descrita anteriormente. Para ello la fibra óptica de transición 2 presenta un extremo 2a, que se corresponde con la primera fibra óptica de varios núcleos 1 en lo que se refiere a la cantidad y geometría de los núcleos 1'. Este extremo 2a puede estar acoplado de esta manera directamente a la fibra óptica de varios núcleos 1. La fibra óptica de transición 2 presenta un segundo extremo, que comprende varios cables de fibra óptica de un núcleo 2b, cuya cantidad se corresponde con la cantidad de los varios núcleos 1' de la fibra óptica de varios núcleos 1, que están asociados a respectivamente un único núcleo 1' y que se corresponden en su disposición geométrica entre sí con la correspondiente disposición de los núcleos 1'.

Con la fibra óptica de transición 2 se transfieren debido a ello las ondas de señal a un correspondiente núcleo 1' en exactamente una de las fibras ópticas de un núcleo 2b, de manera que en este lugar las correspondientes ondas de señal de los diferentes núcleos 1' tienen una separación mayor entre sí que en la fibra óptica de varios núcleos 1 y de esta manera pueden manejarse más fácilmente, ya sea mediante la conducción adicional en fibras ópticas o como se muestra en este caso en la figura 1, mediante propagación en campo libre.

Para el desacoplamiento de las ondas de señal de las fibras ópticas de un núcleo 2b sucede a éstas respectivamente una lente de gradiente 3, formando las lentes de gradiente 3 individuales una disposición

geométrica, que se corresponde por su parte con aquella de la fibra óptica de un núcleo 2b. En la dirección de propagación hay configuradas de esta manera ondas de señal paralelas tras el campo de lente de las lentes 3, las cuales atraviesan un espejo dicróico 4 y posteriormente se acoplan mediante un campo de lente por ejemplo idéntico, de lentes 3', en una fibra óptica de transición 2', que es por ejemplo idéntica a la fibra óptica de transición 2, que solo se atraviesa en dirección contraria y que atraviesa la segunda transformación de campo FT2, que de esta manera puede ser inversa a la primera y que traslada las ondas de señal por su parte a los correspondientes núcleos 5' de una segunda fibra óptica de varios núcleos 5.

Las ondas de bombeo se suministran en este caso en la figura 1 mediante fibras ópticas de un núcleo 6 separadas, correspondiéndose la cantidad de las fibras ópticas de un núcleo 6 y con ello de las ondas de bombeo, con la cantidad de los núcleos de la primera y/o de la segunda fibra óptica de varios núcleos 1 o 5. Cada onda de bombeo está asociada exactamente a un núcleo 1' o 5'. La geometría de las fibras ópticas de un núcleo 6 se ajusta al menos en su extremo de desacoplamiento 6a a la geometría de los extremos 2b y 2b' de las fibras ópticas de transición 2 y 2'. Mediante el desacoplamiento de las ondas de bombeo de los extremos 6a mediante lentes 3'', particularmente lentes de gradiente 3'', cuya disposición geométrica se corresponde entre sí con aquella de los campos de lente 3 y 3', se paralelizan las ondas de bombeo y se superponen coaxialmente con el espejo dicróico 4 de manera reflexiva con las ondas de señal. En la disposición que aquí se muestra se han propagado entonces tanto las ondas de señal S como también las ondas de bombeo P hacia la derecha y se acoplan debido a ello conjuntamente mediante la segunda transformación de campo FT2 en los núcleos 5' de la fibra óptica de varios núcleos 5. Aquí puede ocurrir entonces la amplificación de las señales de onda, particularmente cuando los núcleos 5' tienen efecto de amplificación, por ejemplo, están dopados de erbio y se bombean con ondas de bombeo de una longitud de onda de 980 nm o 1480 nm, cuando se eligen las ondas de señal en el rango de longitud de onda de alrededor de 1550 nm.

La figura 2 se diferencia de la figura 1 solo en la dirección de la propagación de las ondas de señal S y con ello en la disposición de la primera y de la segunda fibra óptica de varios núcleos 1 o 5, en el respectivo otro lado frente a la figura 1. Por lo demás, la descripción se corresponde exactamente con aquella de la figura 1.

Debido a la dirección invertida de las ondas de señal, no obstante, la misma orientación del espejo dicróico 4, actúa sobre las ondas de bombeo tras la superposición sobre las ondas de señal, la primera transformación de campo inversa FT<sup>1</sup>, de manera que éstas se acoplan en la primera fibra óptica de varios núcleos 1 y transcurren allí en contra de las ondas de señal. Debido a ello, en esta forma de realización cada núcleo de la primera fibra óptica de varios núcleos tiene una configuración con efecto de amplificación. La propagación antiparalela puede ser ventajosa particularmente en el caso de amplificadores con efecto Raman.

La figura 3 representa una propagación alternativa de las ondas de señal y superposición con ondas de bombeo en la zona de propagación entre la primera y la segunda transformación de campo.

Tras la primera transformación de campo FT1, como se representa por ejemplo, en las figuras 1 y 2, las ondas de señal de los diferentes núcleos 1' se presentan en fibras ópticas de un núcleo 2b separadas. Las ondas de bombeo se suministran por ejemplo, como se muestra en la figura 1 o 2, mediante fibras ópticas de un núcleo 6.

No se produce ahora no obstante, ninguna propagación de campo libre para cada emparejamiento de onda de señal y onda de bombeo, sino una superposición de estas ondas en un llamado acoplador por fusión 7, en cuyo extremo 7a se propagan tanto la onda de señal, como también la onda de bombeo, en paralelo entre sí, en una fibra óptica de un núcleo 7a. Esta fibra óptica de un núcleo puede conectarse entonces a una de las entradas 2b' de una fibra óptica de transición 2b', que lleva a cabo la segunda transformación de campo. Todos los pares superpuestos de onda de señal y onda de bombeo se transfieren de esta manera a la segunda fibra óptica de varios núcleos 5.

La figura 3 representa por lo tanto la conducción de haz y la superposición solo para una onda de bombeo y una onda de señal de uno de los núcleos 1' como alternativa a la propagación de campo libre entre la primera y la segunda transformación de campo y se corresponde por lo demás en lo que se refiere a la conducción de haz y a la amplificación, a la figura 1. En la figura 3 también puede producirse la superposición de onda de bombeo y cada onda de señal, de manera antiparalela.

En lugar de las fibras ópticas de transición 2 y 2' mostradas aquí, también pueden utilizarse elementos holográficos, cuyas informaciones holográficas representan la primera y/o la segunda transformación de campo. En este caso también existe la posibilidad de integrar en un elemento holográfico el efecto de las lentes 3 o 3'.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la amplificación de ondas de señal ópticas guiadas en una primera fibra óptica de varios núcleos (1), comprendiendo la primera fibra óptica de varios núcleos (1), varios núcleos (1') con una separación de núcleos predeterminada y una geometría predeterminada de los núcleos (1') entre sí y siendo capaz de propagarse en cada núcleo (1') al menos un modo de ondas de señal y amplificándose cada onda de señal en una fibra óptica con efecto de amplificación bombeada ópticamente, llevándose a cabo una primera transformación de campo óptica (FT1), en la que se desacopla cada onda de señal de un correspondiente núcleo (1') de la primera fibra óptica de varios núcleos (1) y aumentándose la separación espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos (1') entre sí frente a la separación de núcleos predeterminada de la primera fibra óptica de varios núcleos (1), y llevándose a cabo una segunda transformación de campo óptica (FT2), particularmente inversa a la primera, en la que se reduce la separación aumentada espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos (1') a una separación de núcleos predeterminada de una segunda fibra óptica de varios núcleos (5) y se acopla cada onda de señal en el correspondiente núcleo (5') de esta segunda fibra óptica de varios núcleos (5), superponiéndose coaxialmente entre la primera y la segunda transformación de campo óptica (FT1, FT2) cada onda de señal de cada uno de los núcleos (1') con una onda de bombeo suministrada individualmente para cada núcleo (1')
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que en el caso de una superposición paralela coaxial entre la onda de señal y de bombeo, la segunda fibra óptica de varios núcleos (5) o una fibra óptica de varios núcleos que le sucede, se configura como fibra óptica de varios núcleos ópticamente bombeada con núcleos (5') con efecto de amplificación, particularmente con núcleos dopados con erbio con efecto láser o con núcleos con efecto Raman o en el caso de una superposición antiparalela coaxial, la primera fibra óptica de varios núcleos (1) o una fibra óptica de varios núcleos dispuesta antes de ésta se configura como fibra óptica de varios núcleos ópticamente bombeada con núcleos con efecto de amplificación, particularmente se configura con núcleos con efecto Raman o con núcleos dopados con erbio con efecto láser.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en el caso de la primera transformación de campo (FT1), cada onda de señal de un correspondiente núcleo (1') de la primera fibra óptica de varios núcleos (1) se transfiere a respectivamente una única fibra óptica de un núcleo (2b) asociada al correspondiente núcleo (1'), correspondiéndose particularmente la disposición geométrica de las fibras ópticas de un núcleo (2b) individuales entre sí con la disposición geométrica de los núcleos (1') de la primera fibra óptica de varios núcleos (1) y transfiriéndose en el caso de la segunda transformación de campo (FT2) cada onda de señal que se propaga en una fibra óptica de un núcleo (2b') desde la fibra óptica de un núcleo (2b') a un núcleo asociado (5') de la segunda fibra óptica de varios núcleos (5), correspondiéndose particularmente la disposición geométrica de las fibras ópticas de un núcleo (2b') entre sí, con la disposición geométrica de los núcleos (5') de la segunda fibra óptica de varios núcleos (5).
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que entre la primera y la segunda transformación de campo (FT1, FT2), cada onda de señal de una fibra óptica de un núcleo (2b) se superpone en una fibra óptica de un núcleo (7a) con una onda de bombeo, que se suministra con una fibra óptica de un núcleo (6), particularmente mediante un correspondiente acoplador por fusión (7) o un correspondiente acoplador de haz libre microóptico.
5. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que entre la primera y la segunda transformación de campo (FT1, FT2), cada onda de señal de cada una de las fibras ópticas de un núcleo (2b) se superpone coaxialmente en el caso de una propagación de campo libre, con una onda de bombeo que se propaga en el campo libre, particularmente mediante un espejo dicróico (4), desacoplándose tras la primera transformación de campo (FT1), cada onda de señal de cada fibra óptica de un núcleo (2b), de la fibra óptica de un núcleo (2b) y paralelizándose y acoplándose antes de la segunda transformación de campo (FT2), cada onda de señal paralelizada en una fibra óptica de un núcleo (2b') asociada.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que se pone a disposición una cantidad de ondas de bombeo correspondiente a la cantidad de núcleos de la primera fibra óptica de varios núcleos (1) mediante respectivamente una fibra óptica de un núcleo (6), siendo idéntica la geometría de las fibras ópticas de un núcleo (2b, 6) de las ondas de señal y de las ondas de bombeo.
7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que las ondas de bombeo se superponen mediante reflexión en un elemento óptico que es atravesado por las ondas de señal en transmisión, particularmente un espejo dicróico, con las ondas de señal o las ondas de señal se superponen en reflexión en un elemento óptico atravesado por las ondas de bombeo en transmisión, con las ondas de bombeo, particularmente en dependencia de la atenuación de inserción de las ondas transmitidas en el elemento óptico.
8. Dispositivo para la amplificación de ondas de señal ópticas guiadas en una primera fibra óptica de varios núcleos (1), en el que la primera fibra óptica de varios núcleos (1) comprende varios núcleos (1') con una separación de núcleos predeterminada y una geometría predeterminada de los núcleos (1') entre sí, y pudiendo propagarse en cada núcleo (1') al menos un modo de onda de señal y con el que puede amplificarse cada onda de señal en una fibra óptica con efecto de amplificación ópticamente bombeada, comprendiendo un primer elemento óptico transformador

de campo (2) mediante el cual puede desacoplarse cada onda de señal de un correspondiente núcleo (1') de la primera fibra óptica de varios núcleos (1) y con el que puede ampliarse la separación espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos (1') entre sí, frente a la separación de núcleos predeterminada de la primera fibra óptica de varios núcleos (1), y comprendiendo un segundo elemento óptico de transformación de campo (2'), que funciona particularmente a la inversa con respecto al primero, con el que puede reducirse la separación ampliada espacial de las ondas de señal de diferentes núcleos (1') a una separación de núcleos predeterminada de una segunda fibra óptica de varios núcleos (5) y con el que puede acoplarse cada onda de señal en el correspondiente núcleo (5') de esta segunda fibra óptica de varios núcleos (5), superponiéndose coaxialmente entre el primero y el segundo elemento óptico transformador de campo (2, 2'), cada onda de señal de cada uno de los núcleos (1') con una onda de bombeo suministrada individualmente para cada núcleo (1').

9. Dispositivo según la reivindicación 8, caracterizado por que un elemento óptico transformador de campo (2, 2') está configurado como fibra óptica de transición, en la que un extremo (2a, 2a') se corresponde con una fibra óptica de varios núcleos y el otro extremo se corresponde con varias fibras ópticas de un núcleo (2b, 2b'), estando asociada cada fibra óptica de un núcleo (2b, 2b') exactamente a un núcleo (1') de la fibra óptica de varios núcleos (1) y correspondiéndose la disposición geométrica de las varias fibras ópticas de un núcleo (2b, 2b') con aquella disposición geométrica de los varios núcleos (1', 5') de la primera y/o segunda fibra óptica de varios núcleos (1, 5).

10. Dispositivo según la reivindicación 8 o 9, caracterizado por que se proporciona un suministro de ondas de bombeo con una cantidad de fibras ópticas de un núcleo (6), que se corresponde con la cantidad de los núcleos (1', 5') de las fibras ópticas de varios núcleos (1, 5), correspondiéndose la geometría de las fibras ópticas de un núcleo (6) con aquella de las fibras ópticas de un núcleo (2b, 2b'), con las que se guían las ondas de señal.

11. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores 8 a 10, caracterizado por que las ondas de señal y las ondas de bombeo están paralelizadas con un campo de lente (3, 3'') y estando superpuestas las ondas paralelizadas en un recorrido de propagación libre entre el primero y el segundo elemento de transformación de campo (2, 2') mediante un elemento de combinación de haces (4), teniendo las lentes (3, 3'') de cada uno de los campos de lente, una geometría idéntica, que se corresponde con la geometría de la fibra óptica de un núcleo (2b, 2b', 6).

12. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado por que en el recorrido de propagación libre hay dispuesto al menos un elemento óptico adicional, particularmente un componente de haz libre microóptico, particularmente un aislador óptico o un espejo parcialmente transparente o un dispositivo para la medición del rendimiento o un dispositivo para llevar a cabo otra función que no influya en la superposición de haces.

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores 8 a 12, caracterizado por que las ondas de bombeo se producen con una cantidad de fuentes de luz de bombeo, que es inferior a la cantidad de las fibras ópticas de un núcleo (6) del suministro de ondas de bombeo, particularmente estando descompuesta la luz de una fuente de luz de bombeo ópticamente, en particular por fibras ópticas, para la configuración de al menos dos ondas de luz de bombeo de una fuente de luz de bombeo.

