

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 487 443**

51 Int. Cl.:

H01S 3/067 (2006.01) **H01S 3/17** (2006.01)

H01S 3/16 (2006.01)

G02B 6/02 (2006.01)

C03C 13/04 (2006.01)

B82Y 30/00 (2011.01)

C01F 7/34 (2006.01)

C01F 7/44 (2006.01)

C03B 37/018 (2006.01)

C03C 4/00 (2006.01)

C03C 14/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2008 E 08291059 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014 EP 2187486**

54 Título: **Fibra óptica de amplificación y procedimiento para fabricarla**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.08.2014

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
DE BOELELAAN 7
1083 HJ AMSTERDAM, NL**

72 Inventor/es:

**PASTOURET, ALAIN;
BUROV, EKATERINA;
BOIVIN, DAVID;
COLLET, CHRISTINE y
CAVANI, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 487 443 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

Fibra óptica de amplificación y procedimiento para fabricarla

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a una fibra óptica amplificadora que tiene un núcleo central y un revestimiento óptico rodeando el núcleo central, en la que el núcleo central se basa en una matriz de sílice que comprende nanopartículas, cuyas nanopartículas están compuestas de un material de matriz que comprende iones de dopado de, al menos, un elemento de tierras raras. Las fibras ópticas amplificadoras pueden ser utilizadas, por ejemplo, en amplificadores ópticos para enlaces de transmisión óptica de alta tasa
- 10 binaria.
- [0002]** La presente invención se refiere además a un amplificador óptico y un láser óptico que comprenden la presente fibra óptica amplificadora. Además, la presente invención se refiere a un procedimiento para preparar una suspensión de nanopartículas, cuyas nanopartículas están compuestas de un material de matriz que comprende iones de dopado de, al menos, un elemento de tierras raras. Además, la presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar la presente fibra óptica amplificadora. Además, la presente invención se refiere a la utilización de la fibra óptica presente.
- 15 **[0003]** El documento de patente US 2003/0175003 de los presentes inventores se refiere a fibras ópticas de amplificación que comprenden nanopartículas en la matriz del núcleo central. Esta publicación está relacionada con la mejora de la forma de ganancia accesible de amplificadores ópticos mediante la presencia de nanopartículas en la matriz, teniendo cada tipo de nanopartícula descrita una combinación elemento/matriz de tierra rara específica. Las nanopartículas de acuerdo con el documento US 2003/0175003 se preparan a través de un proceso de sol-gel, utilizando un compuesto metálico que forma el elemento activo (por ejemplo, acetato de erbio). Durante este proceso este metal se somete a formación de complejos formando un núcleo organometálico, utilizando primeros y segundos alcóxidos metálicos (por ejemplo, alúmina y sílice). El metal activo es así rodeado por óxidos de metales originados a partir de estos primeros y segundos alcóxidos metálicos.
- 20 **[0004]** La presente invención se refiere a mejorar la eficiencia de la amplificación por la fibra óptica dentro de una forma de ganancia especificada, por ejemplo mediante la reducción del consumo de potencia de bomba requerido.
- 30 **[0005]** Un amplificador óptico es un dispositivo que amplifica una señal óptica directamente sin la necesidad de convertir primero dicha señal óptica en una señal eléctrica. Las fibras ópticas amplificadoras y, en particular las llamadas fibras de amplificación dopadas (DFAs), utilizan una fibra óptica dopada como medio de ganancia para amplificar una señal óptica. La señal óptica a amplificar y un láser de bombeo se multiplexan en la fibra óptica dopada, y la señal es amplificada a través de la interacción con los iones de dopado tal como se explicará en más detalle más adelante. Estas DFAs están involucradas en numerosas aplicaciones ópticas.
- 35 **[0006]** El dopado de fibras ópticas con el elemento de tierra rara erbio (Er), proporciona los llamados amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFAs). Estos EDFAs se utilizan en redes de telecomunicaciones ópticas de larga y ultra larga distancia a 1550 nm para amplificar las señales ópticas transmitidas. Estos EDFAs se pueden bombear de manera eficaz con un láser de bombeo a una longitud de onda de 980 nm o 1480 nm, exhibiendo ganancia en la región de 1550 nm. La ganancia se define como la potencia de la señal de salida dividida por la potencia de la señal de entrada. La potencia de la señal de entrada corresponde a la potencia de la señal óptica a la entrada de la fibra óptica amplificadora. La potencia de la señal de salida corresponde a la potencia de la señal óptica a la salida de la fibra amplificadora, es decir, a la señal amplificada. La potencia de salida es la suma de la potencia de la señal de entrada y la energía de bombeo que se transforma en potencia de señal; esta energía de bombeo se iguala al periodo de potencia de bombeo de la eficiencia de la bomba. La ganancia es por lo tanto una medida de la capacidad del amplificador para aumentar la potencia de una señal óptica.
- 40 **[0007]** El dopado con iterbio (Yb) se utiliza a menudo en fibras ópticas para EDFAs para mejorar la eficacia de absorción de la señal de bomba de erbio través de la transferencia de energía entre Yb y Er. Además, los iones de Yb pueden ser también utilizados por sí solos en aplicaciones de láser de alta potencia.
- 45 **[0008]** Las fibras ópticas para EDFAs presentan generalmente un núcleo central compuesto de una matriz a base de sílice que contiene dopado con iones de erbio en una concentración de iones de erbio comprendida entre 250 ppm (0,025% en peso) y 1.000 ppm (0,1% en peso). Los iones de erbio son la fuente de la ganancia óptica y los resultados de ganancia de la emisión estimulada de transiciones electrónicas a un estado de menor energía desde un estado de energía superior previamente ocupado por una fuente de bombeo.
- 50 **[0009]** Estas fibras ópticas para EDFAs comprenden con frecuencia co-dopado con otros elementos para mejorar la amplificación, por ejemplo, para ampliar y/o aplanar la banda de amplificación o la ventana de amplificación, siendo la gama de longitudes de onda ópticas para las que el amplificador produce una ganancia útil. Un ejemplo es una fibra óptica co-dopada con erbio y aluminio que permite la amplificación en la banda C de multiplex de división de longitud de onda (WDM) de 1520 a 1570 nm. Otras aplicaciones y otras posiciones de banda pueden alcanzarse mediante la correcta elección del elemento de tierras raras, ya sea solo o en combinación de dos o más de los mismos.
- 55 **[0010]** Es bien sabido que la amplificación óptica en una fibra óptica dopada con tierras raras se obtiene introduciendo en la fibra óptica una señal de bombeo que excita los iones de tierras raras (por ejemplo, iones
- 60
- 65

Er³⁺ en EDFAs). Cuando una señal óptica pasa a través de esta parte de la fibra óptica, un fotón similar al fotón incidente puede ser emitido desde los iones que se encuentran en estado excitado, cuyo ion vuelve al estado fundamental. Esto se explica en más detalle en la figura 1 que se describe más adelante. La señal óptica incidente será entonces duplicada y el ion de tierra rara está listo para otro ciclo de excitación y des-
 5 excitación. Este proceso se llama emisión estimulada. Si tal porción de una fibra se combina con una cavidad resonante compuesta por dos espejos o de rejillas de Bragg, se obtiene una fibra óptica láser. La longitud de onda y la potencia de dicha fibra óptica láser, depende de la naturaleza y cantidad del elemento de tierras raras utilizados como dopante.

[0011] Hay una creciente demanda continua de sistemas WDM que dará lugar a mercados crecientes de sistemas mejores y más rápidos. Tales sistemas de nueva generación tendrán que incluir amplificadores más eficaces y láseres que sean compatibles con aplicaciones de alta potencia.

[0012] Un punto clave en el desarrollo de los amplificadores de fibra óptica más eficaces es la posibilidad de superar la limitación de ganancia o saturación. La potencia de la señal de salida está limitada debido a un número finito de iones de tierras raras y la potencia de bomba. Así que, cuando la potencia de entrada es baja, se puede tener una ganancia alta porque los iones de tierras raras y la potencia de bomba no están saturados. Si aumenta la potencia de entrada, se puede aumentar la potencia de salida de la misma manera, aumentando concurrentemente la potencia de bomba, de manera que puede mantenerse el nivel de ganancia. Cuando se alcanza el límite de potencia de bomba y la concentración de tierras raras, la potencia de salida alcanza su límite, así que la ganancia no puede ser mantenida. Si la potencia de la señal de entrada aumenta por encima del límite de potencia de bombeo, la ganancia disminuye. Se ha alcanzado la saturación de la ganancia. Esto explica por qué a señal de potencia de entrada baja, puede obtenerse un aumento en la potencia de salida y alta ganancia. También explica por qué a potencia de señal de entrada alta, la potencia de la señal de salida es máxima y la ganancia disminuye hasta llegar a un mínimo. Esta limitación de ganancia viene impuesta por los esquemas de bombeo utilizados actualmente. La potencia de los esquemas de bombeo actuales se limita a bombas láser de 750 mW disponibles en el mercado. Además, por razones técnicas y de costos, tales como disipación de calor y consumo de energía, los sistemas actuales de bombeo se limitan a menudo a una combinación de dos únicas bombas que limitan la potencia total de bombeo a 1,5 W (2x750 mW). Este esquema de bomba dual impone un límite en la ganancia del amplificador y la potencia de salida, que hasta ahora son incompatibles con los requisitos para amplificadores de nueva generación. Este problema de saturación de ganancia se vuelve cada vez más importante con aumentos de potencia de la señal de entrada.

[0013] El objetivo es obtener una potencia de salida superior o conseguir una potencia de salida dada con menor energía de bomba. Esto se puede conseguir mediante el aumento de la eficacia del medio amplificador (la fibra dopada de tierra rara), que corresponde al problema técnico a resolver por la presente invención.

[0014] Un segundo punto clave en el desarrollo de amplificadores más eficaces, es la posibilidad de disminuir los costes de los diversos componentes para una potencia de salida dada y una banda o ventana de amplificación dada. Esto puede lograrse mediante la reducción de la potencia de bomba requerida ya que el consumo de energía de la bomba en un amplificador, representa la mayor parte del presupuesto de utilización y en consecuencia, un ahorro significativo de potencia de bomba dará como resultado una deseada reducción de costes.

[0015] Para alcanzar los anteriormente mencionados dos puntos clave la eficacia de la fibra óptica dopada con tierra rara tiene que ser mejorada, lo que resulta ser un objeto de la presente invención.

[0016] La publicación de B.B. Wang y otros "Novel erbium doped fiber for high power applications" en Passive Components and Fiber-based Devices, en Proceedings of the SPIE, volumen 5623, páginas 411 a 417 (2005), informa que las aplicaciones de alta potencia requieren la optimización tanto del diseño de la guía-ondas de fibra óptica como del diseño de la composición de dopado. Esta publicación revela que la optimización de los parámetros opto-geométricos de la fibra óptica pueden mejorar la eficacia de conversión de potencia de bomba (PCE) mediante la optimización de la superposición entre el campo de modo de bomba y los iones de erbio. Esta optimización obtenida por disminución de la apertura numérica y mediante aumento de la longitud de onda de corte de la fibra óptica, no tiene un efecto detectable sobre las pérdidas por curvatura de la fibra óptica, por la disminución de la apertura numérica y por el aumento de la longitud de onda de corte de la fibra óptica. Además, esta publicación revela que una mejora de dopado puede conseguirse mediante el aumento de la concentración de iones de erbio y la homogeneidad de iones de erbio lo largo de la longitud de la fibra. Esta última mejora puede efectuarse mediante una alta concentración de ión aluminio en el núcleo de la fibra óptica, asegurando al mismo tiempo ciertas características de forma espectral y la limitación del agrupamiento de los iones de erbio.

[0017] Sin embargo, la solución dada a conocer en esta publicación no es suficiente para potencias de bomba que excedan 350 mW. Además, la alta concentración de ion aluminio no es adecuadamente compatible con la baja apertura numérica deseada, ya que se sabe que los iones de aluminio aumentan fuertemente el índice de refracción del núcleo de fibra óptica. Por último, se sabe que una alta concentración de ión aluminio inducirá un aumento en las pérdidas de fondo de la fibra óptica, afectando posiblemente de manera drástica la eficacia del medio de ganancia.

[0018] La publicación de S. Tammela y otros "Potential of nanoparticle technologies for next generation erbium doped fibers" OFC'04, OFC2004 Technical digest, FB5 (2004), da a conocer una forma de aumentar la eficacia del medio de ganancia a través de una alta incorporación de dopado de ión de tierras raras y una dispersión más homogénea de iones de tierras raras dentro del núcleo de la fibra óptica. Esto se obtiene

mediante la utilización de un procedimiento de fabricación de fibra óptica que implica un llamado proceso de deposición de nanopartícula directa (DND). Este proceso DND es una solución técnica alternativa al conocido proceso deposición química en fase de vapor modificada (MCVD), utilizado con frecuencia para dopar núcleos de fibras ópticas. Esta publicación revela la utilización de un proceso de fabricación basado en una técnica de deposición en fase de vapor externa (OVD) mediante la cual la matriz a base de sílice y el dopado se realizan simultáneamente. Las nanopartículas compuestas de polvo de sílice dopado con tierras raras, posiblemente co-dopado con otros elementos, se forman cuando reactivos precursores de elemento, se introducen simultáneamente en la llama de una antorcha diseñada especialmente. Las nanopartículas que se producen son entonces directamente proyectadas y vitrificadas o sinterizadas sobre una barra giratoria para proporcionar las capas de sílice dopadas que constituirán el núcleo de la fibra óptica. Esta publicación revela que el proceso DND proporciona una dispersión homogénea de los iones de tierras raras dentro del núcleo de la fibra óptica junto a alta concentración de iones de tierras raras debido a la fusión de las nanopartículas con el material de sílice durante la vitrificación de ambos.

[0019] Un proceso de fabricación tal, sin embargo no permite preservar la estructura de las nanopartículas dentro del núcleo central de la fibra óptica de amplificación; estas nanopartículas son partículas de sílice dopadas, tales como las obtenidas por un proceso de deposición en fase de vapor, y sinterizadas a alta temperatura para formar capas de vidrio que darán lugar a la preforma óptica primaria. Por lo tanto no hay nanopartículas presentes en la fibra óptica resultante ya que la matriz de las nanopartículas se ha fusionado con la matriz del núcleo central durante la fabricación de la fibra óptica. Como consecuencia, el entorno químico próximo de los iones de dopado del elemento de tierras raras, cuyo entorno gobierna las principales características de ganancia a través de propiedades de fluorescencia de los iones de dopado, no pudiendo controlarse con precisión la utilización de esta técnica, lo que es una desventaja. Esto entonces limitará la posible optimización de los parámetros opto-geométricos independientemente de las características de dopado. En consecuencia, estará limitado el aumento de la eficacia del medio de ganancia para una forma de ganancia especificada.

[0020] Es conocido insertar dopantes de tierras raras dentro de un núcleo de fibra mediante la incorporación de nanopartículas dopadas con elementos de tierras raras, utilizando un proceso deposición química en fase de vapor modificado (MCVD). Por ejemplo, los documentos EPA2-1917702 y WO-A2-2007/020362 describen fibras ópticas que contienen nanopartículas en el núcleo central de la fibra óptica de amplificación. Las nanopartículas descritas en estos documentos contienen iones dopantes de un elemento de tierras raras y adicionalmente iones de dopado de, al menos, un elemento que mejora la amplificación de señal, tal como aluminio, lantano, antimonio, bismuto, u otro. Sin embargo, debido al diseño, la composición química, el tamaño y/o la concentración de estas nanopartículas, las características del proceso para la inclusión de los iones de dopado en el núcleo central o las características opto-geométricas, no garantizan la maximización de la eficacia del medio de ganancia a régimen de potencia de bomba alto.

[0021] Así, existe aún necesidad de una fibra óptica amplificadora dopada con elementos de tierras raras que permita maximizar la eficacia del medio de ganancia para una configuración de ganancia especificada, lo cual es un objeto de la presente invención.

[0022] Uno o más de los objetos mencionados anteriormente se consiguen mediante una fibra óptica amplificadora de acuerdo con la reivindicación 1, una utilización de una fibra óptica de amplificación tal como se define en la reivindicación 11 y un procedimiento para la fabricación de una fibra óptica de amplificación tal como se define en la reivindicación 14.

[0023] Por tanto en la fibra óptica presente, están presentes nanopartículas diferentes, que pueden distinguirse de la matriz circundante del núcleo central de la fibra óptica. La concentración de iones de dopado de tierras raras da lugar a resultados óptimos ya que una concentración tal da lugar una buena ganancia y dado que la dispersión de iones dopado de tierras raras dentro de las nanopartículas es tal que la distancia mínima entre iones de tierras raras es superior a la distancia mínima en que dos iones dopantes de tierras raras pueden ser asimilados como un par o un grupo. Esta asimilación conduce a un denominado fenómeno de extinción de concentración y una disminución resultante de la eficacia de amplificación. La distancia entre dos iones de tierras raras debe, de acuerdo con los presentes inventores, ser igual o mayor que 0,4 nm, preferiblemente igual o mayor que 0,6 nm, más preferiblemente de 0,8 nm, que corresponde a una separación mínima de cuatro, 6 y 8 átomos respectivamente entre dos iones dopantes de tierras raras.

[0024] De acuerdo con la invención, la distancia de todos los iones de dopado de tierras raras en las nanopartículas es de, al menos, 0,4 nm.

[0025] La presente invención se describe en más detalle a continuación con relación a los dibujos en los que: La figura 1 describe esquemas de amplificación para erbio con dos tipos de láseres de bombeo; La figura 1a muestra un esquema de excitación de dos niveles para bombeo con un láser de 1480 nm y La figura 1b muestra un esquema de excitación de tres niveles para bombeo con un láser de 980 nm; La figura 2a muestra una vista lateral esquemática de una fibra óptica según la invención; La figura 2b muestra una sección transversal de una sola nanopartícula que comprende iones de un elemento de tierras raras; La figura 3a muestra un procedimiento de preparación de las nanopartículas según la presente invención; La figura 3b muestra un procedimiento de fabricación de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con la presente invención.

La figura 1 muestra dos posibles esquemas de amplificación para una fibra óptica amplificadora dopada con erbio.

La figura 1a describe un esquema de amplificación para erbio usando un láser de bombeo de 1480 nm. La línea horizontal inferior representa el nivel de energía del estado fundamental (GSL) de los electrones de erbio. Al bombear con el láser de bomba son excitados electrones mediante la absorción de energía láser que pasan a un nivel de energía superior siguiendo la flecha izquierda de absorción (excitación) o A(E). Los electrones son transferidos al nivel de bomba (PL) que es el mismo que el nivel de amplificación (AL). Tras la entrada de una señal óptica en la fibra óptica, cuya señal óptica se representa por la flecha de línea ondulada única de la izquierda (señal de entrada óptica o OIS), los electrones del nivel de amplificación caen de nuevo al nivel del estado fundamental, mientras que la emisión de radiación o des-excitación (RE(D)) tiene lugar siguiendo la flecha de la derecha. Durante esta fase la señal óptica se duplica como se visualiza por las dos flechas de línea ondulada de la derecha (señal de salida óptica o OUS).

La figura 1b describe un esquema de amplificación para erbio usando un láser de bombeo de 980 nm. Este esquema es un poco más complejo y tiene un tercer nivel de energía adicional. La línea horizontal inferior representa el nivel de energía del estado fundamental (GSL) de los electrones de erbio. Al bombear con el láser, son excitados electrones por medio de absorción de energía láser que pasan a un nivel de energía superior siguiendo la flecha izquierda de absorción (excitación) o A(E). Los electrones son transferidos al nivel de bomba (PL) que no es el mismo, sino más alto que el nivel de amplificación (AL). Un paso adicional de des-excitación no radiante (NRD) tiene lugar, donde la diferencia de energía entre el nivel de bomba y el nivel de amplificación es absorbida por el material de matriz de la nanopartícula y el electrón es por tanto transferido desde el nivel de bomba hasta el nivel de amplificación. Tras la entrada de una señal línea óptica en la fibra óptica, cuya la señal óptica se representa por la flecha de línea ondulada única de la izquierda (señal de entrada óptica o OIS), los electrones del nivel de amplificación caen de nuevo al nivel de estado fundamental, mientras que tiene lugar la emisión de radiación o des-excitación (RE(D)) siguiendo la flecha derecha. Durante esta fase, la señal óptica se duplica como hace visible por las dos flechas de línea ondulada de la derecha (señal de salida óptica o OUS).

La figura 2a muestra esquemáticamente una fibra de acuerdo con la invención. El núcleo central se representa por una línea discontinua y los puntos negros representan las nanopartículas que incluyen iones de tierras raras; el núcleo central está rodeado por el revestimiento óptico. La figura 2b muestra una sección transversal de una sola nanopartícula en la que los puntos negros son iones de tierras raras sueltos incrustados en el material de matriz de la nanopartícula

[0026] De acuerdo con los presentes inventores, es necesario mejorar la eficacia intrínseca del proceso por el cual cada ion de tierra rara, absorbe la señal de bomba y la transfiere a estado excitado y emite seguidamente un fotón, que es similar a la señal óptica incidente, mientras cae de nuevo al nivel de estado fundamental.

[0027] De acuerdo con la presente invención, también se requiere adaptar los parámetros opto-geométricos del núcleo central de la fibra óptica, así como sus características de dopado, que son las características del medio de guiado óptico, con el fin de maximizar la ganancia total por unidad de longitud de fibra. La mejora de la eficacia mediante la maximización de la ganancia y la minimización del consumo de potencia de bomba para un valor de ganancia dado, está limitada por la interdependencia de varios de dichos parámetros. En consecuencia, incluso conociendo los parámetros clave que influyen en la eficacia - por ejemplo concentración de iones de tierras raras, la dispersión de iones de tierras raras y entorno químico próximo de iones de tierras raras - no es posible alcanzar el máximo efecto de cada uno de dichos parámetros, porque ellos se encuentran conjuntamente vinculados. La solución de la presente invención por lo tanto, se puede encontrar en un equilibrio óptimo entre estos parámetros como se revela en la reivindicación 1.

[0028] La incorporación de iones de dopado de elemento(s) de tierras raras en el material de matriz de nanopartículas, donde la solubilidad y dispersión de los iones de dopado en el material de matriz de las nanopartículas están estrechamente controladas, por, respectivamente, la concentración y distancia de los iones de dopado, da lugar a las propiedades requeridas.

[0029] La concentración de iones de dopado en el núcleo central de la presente fibra óptica amplificadora es igual o mayor que el 0,01% en peso, preferentemente igual o superior al 0,1% en peso e igual o menor que el 1% en peso, preferiblemente igual o inferior al 0,2% en peso.

[0030] Los iones de dopado del elemento de tierras raras sólo se encuentran en las nanopartículas y no en la matriz del núcleo central de la fibra óptica. Esto significa que la concentración de iones de dopado en el núcleo central puede adaptarse aumentando el número de nanopartículas dentro del núcleo central, aumentando la concentración de iones de dopado dentro de cada una de las nanopartículas, o aumentando el tamaño de las nanopartículas o una combinación de los mismos, dependiendo la aplicación.

[0031] Por supuesto, es posible utilizar varios tipos de nanopartículas, cada una con concentración de iones de dopado, constitución de matriz y tamaño, seleccionados independientemente.

[0032] La concentración de iones de dopado en las nanopartículas, está comprendida entre el 0,1% en peso y el 20% en peso, preferiblemente entre el 0,5% en peso y el 15% en peso. Esto permite obtener la concentración requerida de iones de dopado en el núcleo central de la fibra óptica de amplificación de acuerdo con la presente invención.

[0033] Las dos características de concentración de iones de dopado y distancia entre iones de dopado (también llamada la dispersión) pueden ser obtenidas más fácilmente en determinadas matrices, por ejemplo matrices que tengan un determinado nivel de aluminio, fósforo, o de calcio, dependiendo de los requisitos.

[0034] Además, la matriz de las nanopartículas se selecciona de tal manera que se garantice determinadas características de ganancia para los iones de dopado de tierras raras. Las características de ganancia

deseadas dependen de la aplicación, cada aplicación presentará una necesidad específica en relación con la forma de ganancia de amplificación.

[0035] Por ejemplo, las aplicaciones WDM requerirán banda de amplificación ancha, mientras que aplicaciones de amplificación de canal único o aplicaciones láser requerirán banda intensa y aguda. Las características de forma de ganancia de un ion de tierras raras está gobernada por su entorno químico próximo dentro del núcleo central de la fibra óptica, de modo que el control de los elementos vecinos de los iones dopantes de tierras raras es importante para adaptarse a la forma de ganancia correcta. Algunos elementos son conocidos para ampliar la banda de ganancia asociada a una tierra rara específica, tales como flúor, aluminio, circonio, y telurio. Se conocen otros elementos para dar lugar a banda estrecha, tal como sodio o fósforo, mientras se mantiene alta la propiedad de solubilidad de tierras raras. Además, la tierra rara próxima a la estructura del entorno químico tendrá también una fuerte influencia en el ancho de banda. Por ejemplo, estructuras desordenadas amorfas favorecerán el ensanchamiento de banda, mientras que fases cristalinas o estructuras amorfas débilmente desordenadas, favorecerán bandas intensas agudas. Utilizando la incorporación de tierras raras en la fibra óptica por medio de nanopartículas específicas, se permitirá una mejor adaptación del entorno de las tierras raras en comparación con un proceso de dopado aleatorio.

[0036] Una persona experta en la técnica será capaz de seleccionar la matriz más óptima para las nanopartículas, dependiendo de las características deseadas. La utilización del presente procedimiento para la preparación de las nanopartículas de acuerdo con la presente invención permite la construcción de nanopartículas que tienen la matriz adaptada a la aplicación, ya que las nanopartículas se sintetizan antes de ser incorporadas al núcleo central de la fibra óptica.

[0037] Además, se prefiere que la matriz de las nanopartículas sea seleccionada de manera tal que tenga una energía de fonón que favorezca la des-excitación de tierras raras mediante emisión estimulada.

[0038] En una forma de realización de la presente invención, relacionada con un esquema de amplificación de dos niveles tal como se representa en la figura 1a, el material de la matriz de las nanopartículas tiene una energía de fonón que es menor del 20% de la brecha de energía entre el nivel de amplificación y el nivel de estado fundamental del elemento de tierra rara durante el bombeo, más preferiblemente menor del 15%. Para una mejor eficacia de la des-excitación de los iones de dopado, la matriz de las nanopartículas debe tener una energía de fonón que esté limitada o restringida a una determinada ventana. Fuera de esta ventana, la eficacia se reducirá ya que la energía se perderá debido a la transferencia de energía desde el nivel de amplificación a la red de matriz. Se perderán por tanto electrones excitados para la señal de amplificación y disminuyendo, por tanto, la eficacia.

[0039] En otra forma de realización de la presente invención, relacionada con un esquema de amplificación de tres niveles tal como se representa en la figura 1b, el material de la matriz de las nanopartículas tiene una energía de fonón de, al menos, el 25% de la brecha de energía entre el nivel de bombeo y el nivel de amplificación del elemento de tierras raras durante el bombeo y un máximo del 22%, preferiblemente del 18,5% de la brecha de energía entre el nivel de amplificación y el nivel de estado fundamental del elemento de tierras raras durante el bombeo. En esta forma de realización existe un nivel mínimo de energía de fonón requerido para el material de matriz de las nanopartículas. Dado que el nivel de bomba y el nivel de amplificación no son el mismo se requiere una determinada transferencia de energía hacia el material de matriz con el fin de transferir el electrón desde el nivel de bomba hasta el nivel de amplificación. Puesto que sólo un electrón del nivel de amplificación puede dar lugar a des-excitación y amplificación de señal.

[0040] Es deseable limitar la probabilidad de otros procesos de extinción de fluorescencia no radiante y radiante, además de los procesos representados en la figura 1.

[0041] Cualesquiera otros procesos interferirán significativamente con la amplificación de la señal óptica. Una lista no limitativa de ejemplos de estos procesos son relajación fonones múltiples, transferencia de defectos o impurezas al material de matriz, transferencia ión-ión (denominada relajación cruzada), ETU por conversión ascendente de energía, absorción de estado excitado. En una fibra óptica amplificadora, el decaimiento de fluorescencia indeseada medido desde el nivel de amplificación se considera como la suma de diferentes probabilidades de fenómeno. $W_{meas} = W_{rad} + W_{MP} + W_{CR} + W_{ET}$, donde W_{meas} es el decaimiento de fluorescencia medido, W_{rad} es la probabilidad de des-excitación radiante, W_{MP} , W_{CR} y W_{ET} son respectivamente procesos de des-excitación no radiante, probabilidad de relajación de fonones múltiples, probabilidad de relajación cruzada y probabilidad de transferencia de energía a impurezas y defectos vecinos.

[0042] Una disminución de la eficacia del proceso de amplificación se debe principalmente a estos tipos de fenómenos no radiantes, cuyos fenómenos dependen en gran medida de la energía de vibración de la matriz de las nanopartículas, energía de vibración que se cuantifica como la energía de cuanto o fonón. Cuanto mayor es la energía de fonón de matriz, mayor es la probabilidad de que ocurran estos procesos. En el marco de la amplificación, por tanto se tiene que encontrar el nivel de fonones de matriz correcto. Desde este punto de vista, se puede definir una ventana en la que la energía de fonón de matriz debe limitarse a fin de beneficiarse de la amplificación.

[0043] Por ejemplo, si consideramos amplificación de erbio con un bombeo a 980 nm, la brecha de energía entre la bomba de tierras raras y los niveles de amplificación es de alrededor de 4.000 cm^{-1} y siendo los niveles de estado fundamental de alrededor de 6.500 cm^{-1} , de modo que la energía de fonón de matriz NP debe estar comprendida entre 1.000 y 1.400 cm^{-1} , más preferiblemente entre 1.000 y 1.200 cm^{-1} . Silicato, fosfato, aluminato, o matrices de componentes múltiples, incluyendo óxidos de Si, P y Al óxidos en la composición termodinámicamente estable encaja en el nivel de energía del fonón necesario.

[0044] Por otra parte, todos los procesos de des-excitación que implican transferencia de energía entre los iones de tierras raras excitados y defectos o impurezas (principalmente OH) de las nanopartículas, se podrían evitar, o estrictamente limitarse, debido al proceso de fabricación de las nanopartículas y su proceso de incorporación dentro del núcleo central de la fibra óptica.

[0045] Es un aspecto importante de la presente invención, como se ha mencionado ya anteriormente, que la nanoestructura de las nanopartículas se mantiene durante la incorporación de dichas nanopartículas en la fibra óptica de amplificación de acuerdo con la presente invención. Esto significa que la estructura de la nanopartícula tiene que resistir las altas temperaturas que están vinculadas a los procesos colapsado y estirado de la fibra. Por ejemplo, la nanopartícula debe ser capaz de resistir temperaturas superiores a 1800° C o incluso 2000° C. Tal dependencia de la temperatura puede alcanzarse mediante la correcta selección del material de matriz para las nanopartículas. Por lo tanto las nanopartículas deben constar de un material de matriz que sea resistente a temperaturas de, al menos 1800° C, preferiblemente de, al menos 2000° C. Un ejemplo no limitativo de material que sería adecuado como material de matriz de nanopartículas es alúmina.

[0046] También puede estar previsto otro diseño de nanopartículas, por ejemplo una estructura de corteza-núcleo en la que una nanopartícula es la acumulación de un núcleo hecho de un material de matriz de núcleo que está rodeado por una corteza hecha de un material de matriz altamente resistente. Esta estructura dual permite obtener nanopartículas altamente resistentes, independientemente del material de matriz de núcleo de las nanopartículas. Así, la matriz de nanopartículas puede ser elegida para adaptarse a las características de amplificación adecuadas, incluso cuando este material de matriz de núcleo de las nanopartículas no es capaz de resistir altas temperaturas. La resistencia de las nanopartículas a alta temperatura es soportada por la naturaleza de corteza de nanopartícula.

[0047] El material de la matriz de las nanopartículas es alúmina (Al_2O_3) o una combinación de alúmina (Al_2O_3) y óxido de fósforo (P_2O_5).

[0048] En una forma de realización preferida, el material de matriz de las nanopartículas es amorfo. Con el fin de optimizar la transparencia del núcleo de la fibra óptica, que es un parámetro importante, debe garantizarse una dispersión de luz baja debido a la presencia de las nanopartículas del núcleo central. Si las nanopartículas tienen un índice de refracción diferente a las del núcleo central, se producirá dispersión de luz. Desde este punto de vista, la estructura de la nanopartícula debe ser preferiblemente amorfa ya que nanopartículas cristalinas dan mayor dispersión de luz. Cuando se diseñan nanopartículas cristalinas, entonces es importante definir su tamaño óptimo de manera precisa, teniendo en cuenta su índice de refracción y concentración de iones de dopado.

[0049] El contenido de tierras raras en el núcleo central de la fibra óptica también puede estar relacionado con la atenuación de iones de tierras raras en el pico de absorción expresado en dB/m. Este pico debe estar comprendido entre 2 y 20 dB/m.

[0050] En una forma de realización de la presente invención, la matriz a base de sílice del núcleo central está dopada con, al menos, un elemento seleccionado del grupo, que consta de germanio, fósforo, flúor, boro y una o más combinaciones de los mismos. Estos elementos de dopado se pueden utilizar para aumentar o disminuir el índice de refracción del núcleo central hasta el nivel deseado.

[0051] Preferiblemente, la concentración total de alúmina en el núcleo central, es igual o inferior al 4% en peso, preferiblemente igual o inferior al 3,5% en peso respecto del peso total del núcleo central. Este límite tiene que ver con el hecho de que la alúmina de las nanopartículas puede dar lugar a una alta diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior. En el caso de una concentración demasiado alta de alúmina la dispersión de luz aumentará, lo cual es indeseable.

[0052] En una realización preferida, se selecciona el elemento de tierras raras del grupo, que consiste en erbio, iterbio, tulio, o una combinación de estos elementos, preferiblemente erbio o una combinación de erbio e iterbio.

[0053] Es posible que elementos adicionales estén presentes en la matriz de las nanopartículas con el fin de mejorar varias propiedades de la matriz, tales como por ejemplo la solubilidad de los iones de dopado de tierras raras. Ejemplos de tales elementos adicionales son el calcio, aluminio, sodio, o fósforo.

[0054] En particular, si la alúmina se utiliza como una parte importante del material de matriz de la nanopartícula la solubilidad de tierras raras es buena.

[0055] Como el número de iones de tierras raras por nanopartículas puede ser controlado, para un tamaño de nanopartícula dado, la concentración final de tierra rara dentro del núcleo central o la fibra óptica estará dirigido por la concentración de las nanopartículas en el núcleo de la fibra, es decir, el número de nanopartículas incorporadas durante la etapa de dopado. La concentración total de tierras raras dentro del núcleo central de la fibra óptica, será determinado por un experto en la materia de acuerdo con la aplicación y puede ser alcanzado mediante el ajuste ya sea de la concentración de nanopartículas en el núcleo central (= $[\text{NP}]_{\text{core}}$) o de la concentración de iones de dopado de tierra rara en cada una de las nanopartículas ($[\text{RE}]_{\text{NP}}$). El parámetro constante es la concentración de tierras raras total en el núcleo, dada por el producto $[\text{NP}]_{\text{core}} \times [\text{RE}]_{\text{NP}}$. Como ejemplo, en el caso de alta potencia de la señal de entrada, la relación entre $[\text{NP}]_{\text{core}}$ y $[\text{RE}]_{\text{NP}}$ se ajustará para garantizar el 100% de inversión de tierra rara y un mínimo consumo de potencia de bomba para alcanzar una señal de potencia de salida dada. Desde este punto de vista, se podría alcanzar la deseada concentración de tierras raras dentro del núcleo central de la fibra óptica, ya sea por preferencia de alta $[\text{NP}]_{\text{core}}$ y baja $[\text{RE}]_{\text{NP}}$, o de otro modo baja $[\text{NP}]_{\text{core}}$ y alta $[\text{RE}]_{\text{NP}}$.

[0056] Preferiblemente, la fibra óptica tiene pérdidas por atenuación de fondo, iguales o inferiores a 4 dB/km a 1200 nm, preferiblemente iguales o inferiores a 2 dB/km a 1200 nm.

[0057] Preferiblemente, el tamaño de las nanopartículas es igual o menor que 100 nm, preferiblemente igual o inferior a 50 nm, más preferiblemente igual o inferior a 20 nm. Si el índice de refracción de las nanopartículas está próximo al índice de refracción del núcleo central, el tamaño de las nanopartículas puede ser tan grande como varias decenas de nanómetros debido a una menor dispersión de luz. Sin embargo, si los índices de refracción de las nanopartículas y el núcleo central son significativamente diferentes, el tamaño de las nanopartículas debe ser inferior a 20 nm debido a la mayor dispersión de luz.

[0058] El tamaño de las nanopartículas es preferiblemente al menos 2 nm, más preferiblemente al menos 5 nm.

[0059] De acuerdo con la presente invención, la estructura de guiado óptico se puede optimizar de forma independiente del rendimiento de ganancia, ya que la matriz de las nanopartículas (responsables del rendimiento de ganancia) puede ser adaptada de forma independiente de la matriz del núcleo central (responsable de la estructura de guiado óptico). Por lo tanto, es posible adaptar los parámetros opto-geométricos para optimizar la eficacia del amplificador, por ejemplo mediante la selección de una determinada longitud de onda de corte y un índice de refracción del núcleo central, sin afectar a la respuesta óptica de los iones de dopado de tierras raras.

[0060] La transparencia del núcleo central de la fibra óptica en la ventana de longitud de onda de aplicación, es un parámetro importante para la ganancia total que puede ser alcanzada por el medio amplificador. Con el fin de obtener dicha transparencia, el umbral de atenuación de las fibras ópticas debe ser tan bajo como sea posible. En procesos de dopado de acuerdo con la técnica anterior sin utilizar nanopartículas, las prestaciones ópticas y la composición de matriz de núcleo central están fuertemente vinculadas, por lo que es difícil adaptar la transparencia óptica del núcleo central con independencia del entorno químico próximo de tierras raras. Por ejemplo, las fibras dopadas de WDM para EDFA requerirán una concentración alta de aluminio para asegurar suficientes átomos de aluminio en el entorno de erbio. Sin embargo, esto da como resultado pérdida de transparencia y, por tanto, pérdida de eficacia, lo que es indeseable.

[0061] Una fibra óptica está convencionalmente compuesta de (i) un núcleo óptico, que tiene la función de transmitir y opcionalmente de amplificar una señal óptica, y (ii) un revestimiento óptico, que tiene la función de confinar la señal óptica en el núcleo. Para este propósito, los índices de refracción del núcleo (n_c) y del revestimiento (n_g) son tales que $n_c > n_g$. Como es bien conocido en la técnica, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica de modo único se descompone en un modo fundamental (conocido como LP01) guiado en el núcleo, y en modos secundarios guiados a través de determinados radios del conjunto núcleo-revestimiento.

[0062] En las fibras ópticas, el perfil de índice de refracción es generalmente descrito en términos de la diferencia de índice de refracción entre dos puntos de la gráfica de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra. El revestimiento exterior funciona como un revestimiento óptico y tiene un índice de refracción sustancialmente constante; este revestimiento óptico está generalmente compuesto de sílice pura, pero también puede contener uno o varios dopantes. El perfil del índice de refracción de la fibra óptica se refiere como perfil "de salto", perfil "trapezoidal", o perfil "triangular" para gráficos con las formas de un salto, un trapecio, o un triángulo, respectivamente. Estas curvas son generalmente representativas del perfil de índice teórico o de referencia (es decir, perfil ajustado) de la fibra. Las restricciones de fabricación de fibra, pueden dar lugar a un perfil ligeramente diferente en la fibra real. La fibra óptica de amplificación de acuerdo con la presente invención tiene preferiblemente un perfil de índice de refracción de índice de salto.

[0063] La invención propone una fibra óptica de amplificación, incluyendo, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central y un revestimiento óptico externo. El núcleo central tiene un radio r , preferiblemente comprendido entre 3 y 6 μm , y una diferencia de índice de refracción positiva Δ con el revestimiento óptico externo, preferiblemente comprendida entre 6×10^{-3} y 20×10^{-3} . La fibra de acuerdo con esta invención tiene además preferiblemente un diámetro de campo modal (MFD) de entre 4 y 7 μm para una longitud de onda de 1.550 nm y una abertura numérica de entre 0,16 y 0,20 nm, preferiblemente de entre 0,17 y 0,19, para obtener un confinamiento óptico de la bomba. La presente fibra óptica amplificadora tiene preferiblemente una longitud de onda de corte (λ_c) inferior a 1300 nm, preferiblemente inferior a 1200 nm, con el fin de obtener un alta confinamiento de bomba.

[0064] El confinamiento de bomba o eficacia de conversión de bomba (PCE) está preferiblemente por encima del 90% a una longitud de onda de bombeo de 980 nm.

[0065] El confinamiento de señal a 1550 nm debería ser de, al menos, el 70% y se define como la superposición entre la emisión erbio y el campo de modo de señal.

[0066] Preferiblemente, una fibra óptica se diseña teniendo en cuenta a) la eficacia de los iones de dopado de tierras raras, a través del control del entorno químico y la concentración de iones de dopado; b) los parámetros opto-geométricos de la fibra óptica de forma independiente; c) una alta transparencia de la matriz del núcleo central de la fibra óptica en la ventana de longitud de onda de aplicación.

[0067] La presente invención también se refiere a la utilización de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con la presente invención en un amplificador óptico o un láser óptico.

[0068] Además, la presente invención se refiere a un amplificador óptico o un láser óptico que comprende, al menos, una determinada longitud de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con la presente invención.

[0069] Preferiblemente, un amplificador óptico que comprende una porción de una fibra de acuerdo con la invención, puede ser utilizado en un régimen de alta potencia para llegar a 23 dBm de potencia de salida de señal con una potencia de bomba inferior a 550 mW o 25 dBm de potencia de salida de señal con una

potencia de bomba inferior a 1,000 mW o 27 dBm de potencia de salida de señal con una potencia de la bomba inferior a 1.500 mW.

[0070] La presente invención también se refiere a un procedimiento para preparar una suspensión de nanopartículas, cuyas nanopartículas están compuestas de un material de matriz que comprende iones de dopado de, al menos, un elemento de tierras raras.

[0071] El documento US 2003/0175003 de los presentes inventores, menciona un procedimiento para preparación de nanopartículas por medio de bien un proceso de ablación por láser o bien un proceso de sol-gel modificado. Sin embargo, estos procesos no pueden producir las nanopartículas que tengan la distancia entre iones de dopado como la requerida por la presente invención. Por lo tanto, la invención propone un procedimiento diferente para producir las nanopartículas. Este proceso utiliza la llamada química suave partiendo de precursores de sales inorgánicas, que comprende las etapas de:

a) proporcionar, al menos, un compuesto que comprende, al menos, un ion de un elemento de tierras raras;
b) proporcionar, al menos, un compuesto que comprende, al menos, un ión para formar el material de matriz de la nanopartícula;

c) Añadir de los compuestos obtenidos en la etapa a) y la etapa b) a una solución acuosa que tiene un pH en el margen de 3 a 12, preferiblemente entre 6 y 10, bajo agitación con el fin de obtener la suspensión de nanopartículas.

[0072] La figura 3a muestra este proceso gráficamente. En la etapa a) se proporciona la sal de tierra rara. En la etapa b) se proporciona el compuesto que dará lugar a la matriz de la nanopartícula. Preferiblemente, la proporción relación de la cantidad de compuesto a) a la cantidad de compuesto b) es de 1:10 a 300.

[0073] En una forma de realización preferida del presente procedimiento para la preparación de una suspensión de nanopartículas, en el, al menos un, compuesto de la etapa a) se selecciona entre el grupo que consiste en sales de erbio, preferiblemente acetato de erbio, nitrato de erbio, acetilacetato de erbio, cloruro de erbio y una o más combinaciones de los mismos.

[0074] En otra forma de realización preferida del presente procedimiento para la preparación de una suspensión de nanopartículas, el, al menos un, compuesto de la etapa b) se selecciona entre el grupo que consiste en sales de aluminio y sales de fósforo o una combinación de los mismos, preferiblemente del grupo que consiste en nitrato de aluminio y óxido de tricloruro de fósforo y una combinación de los mismos.

[0075] En otra forma de realización preferida del presente procedimiento para la preparación de una suspensión de nanopartículas, la etapa c) se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 10 y 50 ° C, preferiblemente entre 20 y 40 ° C.

[0076] Además, la presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con la presente invención. En el documento US 2003/0175003 de los presentes inventores se menciona un procedimiento de fabricación de una fibra óptica amplificadora. Sin embargo, la presente invención se refiere a un nuevo procedimiento incluyendo una etapa de calentamiento para reforzar la estructura de las nanopartículas, antes de que el tubo hueco que comprende las nanopartículas sea sinterizado y colapsado.

[0077] El procedimiento de acuerdo con la presente invención comprende las etapas según la reivindicación 14 y se representa en la figura 3b.

[0078] A fin de que las nanopartículas diseñadas sean realmente eficaces para las prestaciones ópticas especificadas, la matriz de las nanopartículas tiene que ser preservada como una nanoestructura dentro del núcleo de la fibra y así resistir esfuerzos y condiciones de temperatura experimentadas durante, por ejemplo un proceso de fabricación de preformas MCVD y el estirado de la fibra. Esto se puede obtener mediante el tratamiento térmico de la etapa IV), realizado después de su etapa de incorporación a través de impregnación y antes de las etapas de sinterización de capa y colapsado de preforma. Esta etapa puede ser llevada a cabo a temperaturas iguales o superiores a, por ejemplo 500 ° C, iguales o superiores a, por ejemplo, 800 ° C, iguales o superiores a, por ejemplo, 1.000 ° C, o iguales o superiores a, por ejemplo, 1200 ° C.

[0079] Por ejemplo, se conoce que se puede transformar alúmina en fases más resistentes térmicamente mediante un tratamiento apropiado a temperaturas iguales o superiores a 1000 ° C.

[0080] La presente invención se explica adicionalmente por medio del siguiente ejemplo no limitativo dado sólo con fines de explicación.

Ejemplo

[0081] Una fibra óptica dopada con erbio para amplificación de alta eficacia en la banda C se obtiene por el siguiente procedimiento.

[0082] En primer lugar, se preparan nanopartículas que comprenden iones de dopado de erbio. Nitrato de aluminio y nitrato de erbio son co-precipitados en una solución acuosa cuyo pH se mantiene igual a 9, utilizando hidróxido de sodio.

[0083] La concentración de sal de erbio es 3 mmol/l y la relación molar entre la sal de aluminio y la sal de erbio es de alrededor de 200, con el fin de garantizar la requerida dispersión de iones de dopado de erbio en la matriz de alúmina de la nanopartícula. Esto debería dar lugar a iones de erbio que tienen un entorno químico capaz de alcanzar las características espectroscópicas esperadas. El tamaño de las nanopartículas precipitadas es de aproximadamente 25 nm.

[0084] Después de la precipitación y lavado de nanopartículas, el pH se ajustó a 6 mediante adición de ácido clorhídrico, obteniéndose una suspensión acuosa estable de nanopartículas co-dopadas Al/Er con una

concentración de erbio conocida. Esta suspensión se utiliza a continuación para impregnar la capa porosa de núcleo central a base de sílice de un tubo hueco de sílice obtenida a través de proceso de MCVD. Para este fin, el tubo hueco se pone en una posición vertical y la suspensión es vertida en el tubo hueco.

5 **[0085]** La diferencia de índice de refracción entre el núcleo central y el revestimiento se ha ajustado a 13×10^{-3} mediante utilización de germanio en la matriz del núcleo central. Después de la impregnación, el exceso de suspensión es retirado del tubo hueco y el tubo se secó y se trató térmicamente a una temperatura de aproximadamente 1100°C durante 1 hora con el fin de secar y reforzar la estructura de la nanopartícula dentro del núcleo central. Después, la capa de núcleo dopado resultante es sinterizada. El tubo dopado es entonces colapsado a una temperatura de aproximadamente 2200°C para dar la preforma primaria que
10 luego es enfundada para adaptar la relación entre el diámetro del núcleo central y el diámetro del revestimiento óptico. La preforma final, es finalmente estirada en una fibra óptica utilizando una técnica de estirado estándar.

15 **[0086]** Se obtiene una fibra dopada con erbio que tiene una atenuación de erbio de 6 dB/m a 1528 nm medida como la absorción máxima, que corresponde aproximadamente al 0,036% en peso de erbio del peso total del núcleo. La fibra óptica tiene una longitud de onda de corte de 1150 nm, una diferencia de índice de refracción con el revestimiento óptico de 13×10^{-3} , una apertura numérica de 0,19, un MDF a 1550 nm de 5,6 micrómetros y un diámetro del núcleo central de 5 micrómetros. La fibra óptica presenta bajas pérdidas de 1,6 dB/km a 1220 nm. El confinamiento de bomba a 980 nm es igual al 90% y el confinamiento de señal, es del 70%.

20 **[0087]** La fibra presenta una alta eficacia a alta potencia de señal de entrada y se puede utilizar como extensor EDFA de alta potencia/ganancia baja en la WDM de banda C. La fibra permite ahorrar hasta un 10% de la potencia de bomba a 25 dBm de potencia de señal de salida. La fibra también puede ser utilizada para alcanzar potencia de salida de señal de 26 dBm sin precedentes en un esquema de amplificación de bomba dual que implica dos bombas láser de 750 mW 980 nm.

25 **[0088]** La presente invención se caracteriza además por las reivindicaciones adjuntas

Reivindicaciones

- 5 1. Fibra óptica de amplificación que tiene un núcleo central y un revestimiento óptico rodeando el núcleo central, en el que el núcleo central está basado en una matriz de sílice que comprende nanopartículas, cuyas nanopartículas están compuestas de un material de matriz que comprende iones de dopado de, al menos, un elemento de tierras raras y siendo el material de matriz alúmina (Al_2O_3) o una combinación de alúmina (Al_2O_3) y óxido de fósforo (P_2O_5), donde la concentración de los iones de dopado se encuentra comprendida entre el 0,01% en peso y el 1% en peso, preferiblemente entre el 0,01 y el 0,2% en peso del peso total del núcleo central y donde la distancia entre los iones de dopado de las nanopartículas es de, al menos, 0,4 nanómetros y donde la concentración de iones de dopado en la nanopartícula está comprendida entre el 0,1 y el 20% en peso del peso total de dicha nanopartícula.
- 10 2. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la concentración de iones de dopado en la nanopartícula está comprendida entre el 0,5 y el 15% en peso del peso total de dicha nanopartícula.
- 15 3. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el material de matriz de las nanopartículas tiene una energía de fonón que es menor que el 20% de la brecha de energía entre el nivel de amplificación y el nivel de estado fundamental del elemento de tierra rara durante el bombeo, más preferiblemente menor del 15% de la brecha de energía.
- 20 4. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el material de la matriz de las nanopartículas tiene una energía de fonón de, al menos, el 25% de la brecha de energía entre el nivel de bombeo y el nivel de amplificación del elemento de tierra rara durante el bombeo y a lo sumo el 22%, preferiblemente el 18,5% de la diferencia de energía entre el nivel de amplificación y el nivel de estado fundamental del elemento de tierras raras durante el bombeo.
- 25 5. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el material de matriz de las nanopartículas es amorfo.
- 30 6. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la matriz a base de sílice del núcleo central está dopada con, al menos, un elemento seleccionado del grupo, que consta de germanio, fósforo, flúor, el boro y una o más combinaciones de los mismos.
- 35 7. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la concentración total de alúmina en el núcleo central es igual o inferior al 4% en peso, preferiblemente igual o inferior al 3,5% en peso respecto del peso total del núcleo central.
- 40 8. Fibra de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el elemento de tierras raras, se selecciona entre el grupo, que consiste en erbio, iterbio, tulio, y una combinación de estos elementos, preferiblemente de erbio con iterbio.
- 45 9. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la fibra óptica tiene pérdidas de atenuación de fondo iguales o inferiores a 4 dB/km a 1200 nm, preferiblemente iguales o inferiores a 2 dB/km a 1200 nm.
- 50 10. Fibra óptica de amplificación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el tamaño de las nanopartículas es igual o inferior a 100 nm, preferiblemente igual o inferior a 50 nm, más preferiblemente igual o inferior a 20 nm.
- 55 11. Utilización de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes en un amplificador óptico o un láser óptico.
- 60 12. Amplificador óptico que comprende, al menos, una longitud de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
13. Láser óptico que comprende, al menos, una porción de una fibra óptica amplificadora de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 y 12.

14. Procedimiento para fabricar una fibra óptica amplificadora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- 5 I) preparar una suspensión de nanopartículas, compuestas de un material de matriz que comprende iones de dopado de, al menos, un elemento de tierras raras y siendo el material de matriz alúmina (Al_2O_3) o una combinación de alúmina (Al_2O_3) y óxido de fósforo (P_2O_5),
- 10 II) proporcionar un tubo hueco a base de sílice que tiene una capa porosa interna, preparada mediante un proceso de deposición química en fase de vapor (CVD);
- III) impregnar la capa porosa interna del tubo hueco obtenido en la etapa II) con la suspensión obtenida en la etapa I);
- 15 IV) aplicar calor a la capa porosa interior dopada obtenida en la etapa III) para eliminar el agua residual y reforzar las nanopartículas;
- V) vitrificar y colapsar el tubo hueco obtenido en la etapa IV) para obtener una preforma óptica;
- VI) opcionalmente enfundar o sobre-revestir la preforma óptica obtenida en la etapa V) para obtener una preforma óptica con relación modificada entre el diámetro del núcleo central y el diámetro de revestimiento óptico;
- 20 VII) estirar la preforma óptica obtenida en la etapa V) o la etapa VI) para obtener una fibra óptica que tiene un núcleo central y un revestimiento óptico, rodeando el núcleo central, en la que el núcleo central se basa en una matriz de sílice que comprende nanopartículas, cuyas se componen de nanopartículas de un material de matriz que comprende iones de dopado de, al menos un elemento de tierras raras y siendo el material de matriz alúmina (Al_2O_3) o una combinación de alúmina (Al_2O_3) y óxido de fósforo (P_2O_5), en la que la concentración de los iones está comprendida entre el 0,01 y el 1% en peso, preferiblemente entre el 0,01 y el 0,2% en peso del peso total del núcleo central y en la que la distancia entre los iones en las partículas es, al menos, 0,4 nanómetros y en el que la concentración de iones de dopado en la nanopartícula está comprendida entre el 0,1 y el 20% en peso del peso total de la nanopartícula.

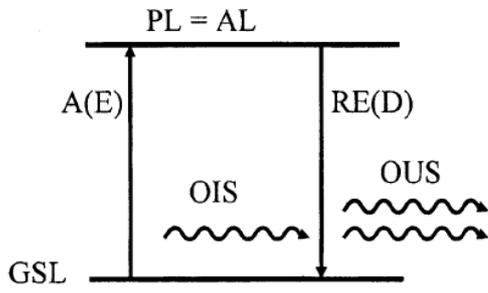


Fig. 1a

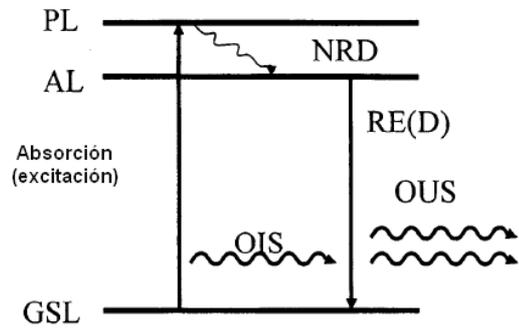


Fig. 1b

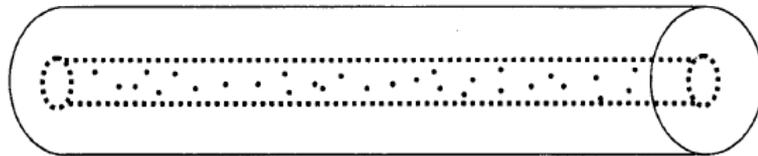


Fig. 2a

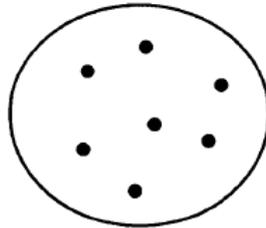


Fig. 2b

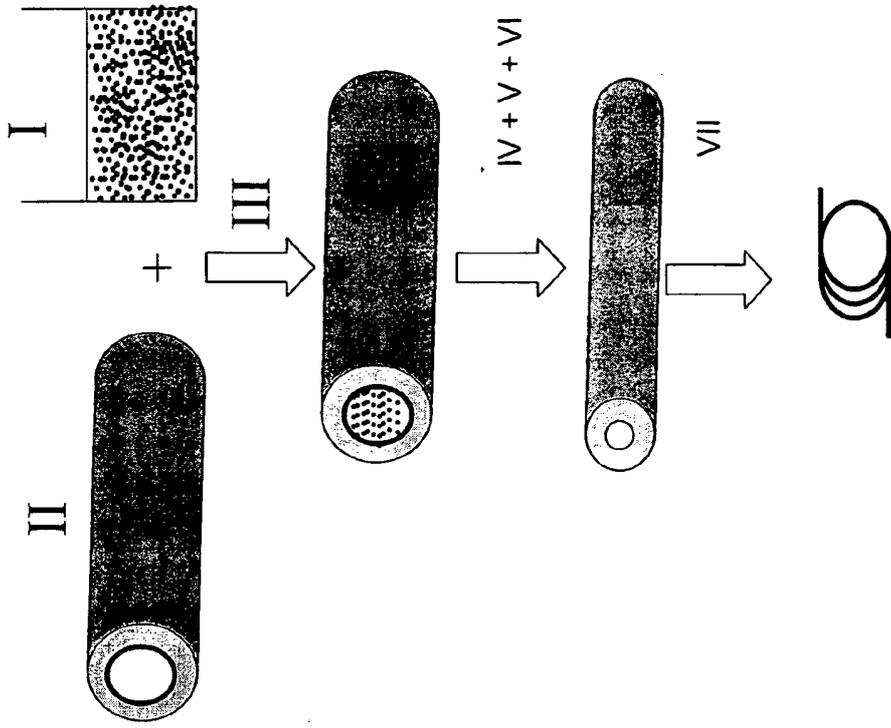


Fig. 3b

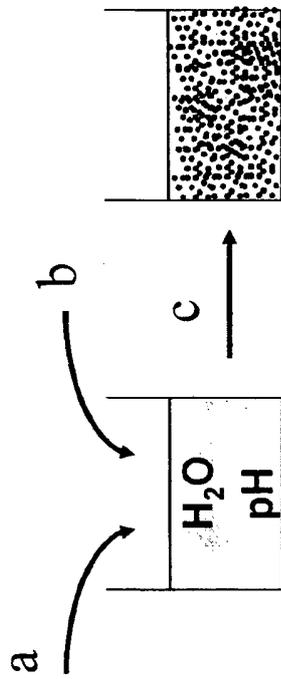


Fig. 3a

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente Europea. A pesar de que gran cuidado se ha tomado en la compilación de las referencias, los errores u omisiones que no pueden ser excluidos y la OEP se exime de toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- EE.UU. 20030175003 A **[0003] [0071] [0076]**
- EP 1917702 A2 **[0020]**
- WO 2007020362 A2 **[0020]**

10 Bibliografía no patente citada en la descripción

<ul style="list-style-type: none"> • B.S. Wang et al. Novel erbium doped fiber for high power applications. <i>Passive Components and Fiber-based Devices, in Proceedings of the SPIE</i>, 2005, vol. 5623, 411-417 [0016] 	<ul style="list-style-type: none"> • S. Tammela et al. Potential of nanoparticle technologies for next generation erbium-doped fibers. <i>OFC'04, OFC2004 Technical digest, FB5</i>, 2004 [0018]
--	--