

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 404**

51 Int. Cl.:  
**C03C 3/23** (2006.01)  
**C03C 13/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04719336 .2**  
96 Fecha de presentación: **11.03.2004**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1732856**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.12.2006**

54 Título: **Vidrio para fibra óptica amplificadora**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**08.06.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**08.06.2012**

73 Titular/es:  
**ERICSSON TELECOMUNICAÇÕES S.A.  
RUA MARIA PRESTES MAIA 300, VILA  
GUILHERME  
02047-020 SAO PAULO, SP, BR**

72 Inventor/es:  
**BARBOSA, Luiz Carlos y  
CESAR, Carlos Lenz**

74 Agente/Representante:  
**de Elizaburu Márquez, Alberto**

ES 2 382 404 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

Vidrio para fibra óptica amplificadora

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a fibras ópticas y, en particular, a una composición de vidrio de telurito adecuado para su uso en una fibra óptica para amplificación de señales ópticas.

**Antecedentes**

10 Las redes actuales de telecomunicaciones emplean generalmente fibras ópticas para la transmisión de señales. Las señales ópticas son transportadas largas distancias en uno o varios transportadores ópticos y ciertas características, como piernas largas y división de potencia, necesitan la amplificación o regeneración de señales debilitadas. La amplificación óptica es frecuentemente la opción más deseable puesto que ofrece amplificación directa sin conversión problemática entre señales ópticas y eléctricas.

15 Los amplificadores ópticos comprenden típicamente una fibra amplificadora comparativamente corta, impurificada con un metal de las tierras raras o con otra sustancia capaz de emitir fluorescencia. Luz de la misma longitud de onda que las señales de entrada es bombeada en la fibra amplificadora por un láser de bombeo y los fotones absorbidos originan que electrones de los átomos de los metales de las tierras raras salten a un estado excitado temporal. Cuando los electrones pierden energía, los fotones se desprenden y se añaden a la señal de entrada incrementando su ganancia.

20 Para la banda convencional (G), es bien conocido usar amplificadores de fibra impurificada con erbio (EDFA), que han sido investigados a fondo. La creciente demanda de banda ancha en sistemas ópticos de comunicación de multiplexado por división de longitud de onda (WDM) ha llevado a extender las bandas de transmisión fuera de la banda C. Por debajo de la banda C, está la denominada banda S (1.460-1.520 nm) para la que son adecuados amplificadores de fibras impurificadas con iones tulio ( $Tm^{3+}$ ), que presentan una banda de emisión a 1.470 nm. Los amplificadores de fibras impurificadas con tulio (TDFA) proporcionan un posicionamiento excelente en la banda de soporte así como una alta eficiencia de conversión de potencia, resultante de la naturaleza basada en un metal de las tierras raras.

25 Los TDFA mantienen así el potencial de permitir una mayor capacidad de transmisión en el futuro. Se han investigado varios sistemas de vidrios, por ejemplo, vidrio de silicato de alta luminosidad, vidrio de fluoruro y, más recientemente, vidrio de telurito impurificado con iones tulio ( $Tm^{3+}$ ). Sin embargo, hay problemas que se deben resolver antes de poder fabricar un amplificador óptico eficiente impurificado con  $Tm^{3+}$ . Los sistemas de vidrios impurificados con tulio implican cuatro niveles de energía, incluidos los niveles  $^3H_4$  y  $^3F_4$ , respectivamente. Estos vidrios están limitados por el hecho de que el tiempo de vida del nivel inferior es mayor que el del nivel superior, lo cual significa que las fibras básicas de Tm son inoperantes como amplificadoras. Por lo tanto, para fabricar un amplificador óptico de buen funcionamiento usando tulio como impureza, es necesario despoblar el nivel inferior. Se han usado tres métodos en el caso de vidrios de silicato y de fluoruro: bombeo de conversión, oscilación con láser de banda a 1,8  $\mu m$  e impurificación conjunta con iones holmio ( $Ho^{3+}$ ). La transición en 1.470 nm no es posible en vidrios de sílice porque el nivel  $^3H_4$  cae por mecanismos predominantemente no radiativos. Aunque estos tres procesos se han confirmado con éxito en vidrios de fluoruro, dichos vidrios presentan duración química baja y son muy difíciles de fabricar como fibras ópticas de pérdida baja.

30 En consecuencia, sería muy deseable un sistema de vidrio que combine las propiedades ópticas de vidrios de fluoruro con las propiedades físicas de vidrios de sílice y estos requisitos se cumplen con los vidrios de telurito (Te). Se ha encontrado que los vidrios de telurito proporcionan un espectro de emisión de tulio más ancho que otros vidrios. Por lo tanto, las fibras ópticas de vidrio de telurito originan amplificadores ópticos de banda más ancha para WDM, permitiendo un mayor número de canales ópticos de longitud de onda. Al mismo tiempo, la solubilidad del elemento de las tierras raras es comparativamente alta, resultando una ganancia muy alta por unidad de longitud. Debido al alto nivel de impurificación, los amplificadores que comprenden vidrio de telurito sólo requieren fibras ópticas de unos centímetros de longitud.

35 El documento US 2003/231852 describe un vidrio para fibras ópticas que comprende  $TeO_2$ ,  $Li_2O$  y un ion de un metal de las tierras raras como impureza. El documento JP 62 288135 describe vidrios para uso óptico (por ejemplo, elementos de modulación acústica-óptica) que comprenden un contenido alto de  $TeO_2$ , 4-12% de haluros de metales alcalinos y un único lantánido (La).

40 Una cuestión clave para proporcionar TDFA eficientes basados en telurito es resolver el tiempo de vida rápido en la banda de transición de la señal ( $^3H_4 - ^3F_4$ ) para conseguir una buena inversión del proceso de amplificación. En la técnica anterior se han propuesto varias composiciones de vidrio de telurito impurificado con tulio. En la referencia [1], por ejemplo, se describen vidrios de telurito de la familia de  $TeO_2-ZnO-Na_2O$  impurificados con iones  $Tm^{3+}$ . Los vidrios tienen ventajas significativas, principalmente cuando se combinan con vidrios de telurito impurificados con iones  $Er^{3+}$ . Sin embargo, los autores no contemplan despoblar el nivel inferior  $^3F_4$ , cuyo tiempo de vida es siempre mayor que el del nivel superior  $^3H_4$ . La referencia [2] se refiere también a vidrios de la familia de  $TeO_2-ZnO-Na_2O$ .

Aquí, los autores no despueblan el nivel inferior, incluso con impurificación conjunta de iones  $\text{Ho}^{3+}$  o de iones  $\text{Tb}^{3+}$ . El tiempo de vida del nivel superior  ${}^3\text{H}_4$  es siempre más corto que el del nivel inferior  ${}^3\text{F}_4$  con estos vidrios.

En consecuencia, subsisten los problemas asociados con vidrios de telurito impurificados con metales de las tierras raras. En la técnica anterior no se han descrito vidrios de telurito con tiempos de vida satisfactorios y, por lo tanto, se necesita una composición mejorada de vidrio.

### Resumen

Un objeto general de la presente invención es proporcionar una composición mejorada de vidrio adecuado para su uso en un amplificador de fibra óptica. Un objeto específico es conseguir mayor transferencia de energía entre una impureza y otra impureza conjunta en un vidrio amplificador basado en telurito. Otro objeto de la invención es proporcionar un vidrio de telurito para amplificación de banda ancha en la banda S. También otro objeto es proporcionar amplificadores ópticos impurificados con Tm de buen funcionamiento.

Estos objetos se consiguen de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención se refiere a vidrios de telurito impurificados con un óxido de un metal lantánido. La amplificación entre ciertos niveles de energía del ion lantánido es deseable pero, para conseguir esto, es necesario despoblar el nivel de energía inferior. Por lo tanto, el vidrio está impurificado también con un segundo lantánido al que se transfiere energía. En resumen, la invención consigue una fibra de vidrio amplificadora mejorada añadiendo a dicha composición de vidrio de telurito una cierta cantidad de un haluro de metal alcalino, como CsCl. La adición del haluro de metal alcalino modifica la estructura del vidrio, resultando una mayor transferencia de energía desde el primer ion lantánido al segundo ion lantánido. Por medio de la invención, la relación entre las vidas medias del nivel de energía superior e inferior del primer ion lantánido se puede reducir a un valor inferior a uno, permitiendo fibras amplificadoras eficientes.

Por lo tanto se proporciona una composición de vidrio de telurito adecuado para fibras amplificadoras ópticas. El vidrio está impurificado con un primer lantánido e impurificado también con otro lantánido y la amplificación óptica se basa en la transferencia de energía desde el primer ion lantánido al segundo ion lantánido. El vidrio incluye además 4-12% en moles de por lo menos un haluro de metal alcalino XY para aumentar la transferencia de energía, seleccionándose X del grupo formado por Li, Na, K, Rb, Cs y Fr y seleccionándose Y del grupo formado por F, Cl, Br y I. Un vidrio preferido contiene aproximadamente 10% en moles del haluro de metal alcalino CsCl.

Una composición preferida de vidrio está impurificada con Tm e impurificada también, por ejemplo, con Ho. En dicho vidrio, el componente de haluro alcalino origina mejores propiedades de amplificación en la banda S, permitiendo amplificadores ópticos de banda ancha. Otra ventaja del vidrio propuesto de telurito es que presenta excelente estabilidad térmica.

De acuerdo con otros aspectos de la presente invención, se proporcionan una fibra amplificadora óptica, un amplificador óptico, un dispositivo láser y un método de fabricación de una fibra amplificadora óptica.

### Breve descripción de los dibujos

La invención, junto con otros objetos y ventajas de la misma, será mejor entendida por referencia a la siguiente descripción junto con los dibujos adjuntos, en los que:

- La figura 1 es una vista esquemática en sección de una realización que sirve de ejemplo de un amplificador óptico de acuerdo con la presente invención,
- La figura 2 contiene tres diagramas de niveles de energía de tulio que ilustran estrategias para despoblar el nivel  ${}^3\text{F}_4$ ,
- La figura 3 contiene espectros de infrarrojos de un vidrio de telurito de la técnica anterior y de una composición de vidrio de telurito que sirve de ejemplo de acuerdo con la presente invención,
- La figura 4 muestra niveles de energía de los iones lantánidos  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$  e  $\text{Yb}^{3+}$ , con foco en niveles inferiores de energía,
- La figura 5 es un diagrama esquemático de bloques de una realización que sirve de ejemplo de un amplificador óptico de acuerdo con la presente invención, y
- La figura 6 es un diagrama esquemático de bloques de una realización que sirve de ejemplo de un dispositivo láser de acuerdo con la presente invención.

### Descripción detallada

En la siguiente descripción, el término “lantánidos” se refiere al grupo de metales de las tierras raras que contiene los elementos La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. Un vidrio “multicomponente” consta de por lo menos tres componentes (sin contar las impurezas).

5 La figura 1 ilustra la estructura básica de un cable típico de fibra óptica. Se muestra una fibra óptica 10 que comprende un filamento central 12 y un revestimiento 14. El filamento central 12 es un material transparente de vidrio a través del cual circula un haz de luz. Está rodeado por otra hoja de vidrio, el revestimiento 14, que generalmente tiene un índice de refracción menor que el del filamento central. El revestimiento actúa como un espejo reflejando luz en el filamento central y el haz de luz es transmitido así a través de la fibra óptica 10 mediante reflexión interna. La cara exterior de la fibra óptica 10 está cubierta con un recubrimiento protector 16 de un material aislante.

15 Como se ha explicado en la sección “Antecedentes”, un problema con vidrios de telurito impurificados con iones  $Tm^{3+}$  que operan a 1.470 nm es que la vida del nivel inferior ( $^3F_4$ ) es mayor que la vida del nivel superior ( $^3H_4$ ). También hay otros vidrios impurificados con lantánidos asociados con una vida demasiado alta del nivel inferior en comparación con la vida del nivel superior para la transición deseada. La presente invención pretende resolver este problema y despoblar el nivel inferior de los iones de una manera satisfactoria. En particular, un objetivo principal es fabricar una fibra óptica de vidrio de telurito impurificado con iones  $Tm^{3+}$  de modo que la vida del nivel inferior disminuya a un valor menor que la vida del nivel superior.

20 En la figura 2 se ilustran estrategias de la técnica anterior para despoblar el nivel  $^3F_4$  que se han usado principalmente con vidrios de silicato y fluoruro. Estas son: bombeo de conversión, oscilación con láser de banda a 1,8  $\mu m$  e impurificación conjunta con iones holmio ( $Ho^{3+}$ ). En la figura 2, el primer diagrama (I) de energía de tulio describe un vidrio impurificado con Tm y el segundo diagrama (II) muestra un esquema de bombeo a 1.060 nm mientras que el tercer diagrama (III) ilustra el proceso de transferencia de energía de un vidrio impurificado con Tm y con Ho.

25 La composición de vidrio de telurito propuesto de acuerdo con la presente invención usa transferencia de energía para despoblar el nivel de energía inferior del ion lantánido usado como impureza. La transferencia de energía es un mecanismo en el que el electrón en estado excitado de un ion/átomo/molécula (donante) cae a un estado de menor energía, con una promoción simultánea de un electrón de un ion/átomo/molécula vecino (aceptor) a un estado excitado. En el caso de una composición de vidrio destinada a amplificar a 1.470 nm impurificada con Tm e impurificada también con Ho, esto significa que el electrón del nivel  $^3F_4$  del  $Tm^{3+}$  cae al nivel  $^3H_6$  y el electrón en el estado de  $Ho^{3+}$   $^5I_8$  sube al nivel excitado  $^5I_7$ . La transferencia de energía viene indicada por la flecha entre el nivel del  $Tm^{3+}$   $^3F_4$  en la figura 2 (III). El efecto de la transferencia de energía requiere que la curva de emisión del donante se solape con la curva de absorción del aceptor, preferiblemente a estados inferiores de energía. Si el aceptor tiene niveles más bajos a los que los electrones pueden caer rápidamente, el flujo medio de transferencia de energía será de donante a aceptor.

35 Además de la distancia y del solapamiento de las curvas de absorción/emisión, el efecto de la transferencia de energía depende del medio alrededor del ion/átomos. La influencia del medio es muy pronunciada en el caso de iones de metales de las tierras raras porque las transiciones ópticas entre los mismos estados 4f están prohibidas óptimamente por reglas de selección y sólo suceden debido a interacciones en el campo de iones/cristales. La transferencia de energía depende de la interacción electrostática entre electrones de los dos iones vecinos. En algunos casos estas interacciones pueden ser anuladas, por ejemplo, por la constante dieléctrica del medio pero, algunas veces, por el contrario aumentan por la presencia de un campo eléctrico local debido a cargas no equilibradas y dipolos eléctricos.

40 La presente invención propone aumentar el mecanismo de transferencia de energía entre dos iones diferentes de metales de las tierras raras incluyendo haluros de metales alcalinos en la composición del vidrio en la que están embebidos los iones de los metales de las tierras raras. El haluro de metal alcalino consigue esto aproximando los iones entre sí y creando campos cristalinos alrededor de ellos con lo que se rompen las reglas de selección y el proceso resulta más eficiente.

45 En particular, la invención ofrece composiciones de vidrio para amplificar en la banda S con excelentes características de amplificación. Se ha descubierto que la adición de haluros de metales alcalinos, como CsCl, NaCl y KCl, a composiciones de vidrio de telurito impurificado con Tm e impurificado también con, por ejemplo, Ho origina un mecanismo considerablemente mejorado de transferencia de energía. Con la invención se puede reducir la relación entre las vidas del nivel de energía superior e inferior a valores por debajo de 1, originando una amplificación óptica eficiente. Las composiciones de vidrio basadas en este conocimiento son muy adecuadas para amplificadores de fibra óptica de banda ancha.

50 A continuación se ilustrará la relación inversa de vida obtenida con la invención a modo de ejemplo, principalmente con referencia a las tablas 1A y 1B. La tabla 1A ilustra la vida de iones  $Tm^{3+}$  en vidrios de  $TeO_2-ZnO-Li_2O-Bi_2O_3-CsCl$  de acuerdo con la presente invención, mientras que la tabla 1B contiene, a efectos comparativos, las

correspondientes vidas de vidrios del mismo vidrio base pero sin CsCl, esto es, vidrios de  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3$ . Se usó el siguiente sistema de vidrio (Tabla 1A):  $(99,8-y)(66\text{TeO}_2-15,5\text{ZnO}-5\text{Li}_{20}-4\text{Bi}_2\text{O}_3-9,5\text{CsCl}) + (0,2 \text{ a } 2)\text{Tm}_2\text{O}_3 + y\text{Ho}_2\text{O}_3$  ( $y = 0,8 \text{ a } 2$ ). Se midieron fibras ópticas de modo simple de estos vidrios con un diámetro del filamento central de  $5 \mu\text{m}$  con bombeo de láser de Ti-Sapphire a 790 nm. Las vidas de la tabla 1B se midieron para el vidrio base de  $65\text{TeO}_2-15\text{ZnO}-18\text{Li}_2\text{O}-2\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

5

Tabla 1A

	Vidrio A	Vidrio B	Vidrio C	Vidrio D	Vidrio E	Vidrio F
Tm (%)	0,2	0,5	1,0	2,0	0,2	0,2
Ho (%)	-	-	-	-	0,8	2,0
Tiempo de vida de $^3\text{H}_4$ (minutos)	0,49	0,51	0,50	0,48	0,30	0,27
Tiempo de vida de $^3\text{F}_4$ (minutos)	2,28	2,24	2,36	2,02	0,26	0,06
Relación $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$	4,65	4,39	4,72	4,2	0,86	0,22

Tabla 1B

(Técnica anterior)

	Vidrio A	Vidrio B	Vidrio C	Vidrio E	Vidrio F
Tm (%)	0,2	0,5	1,0	0,2	0,2
Ho (%)	-	-	-	0,8	2,0
Tiempo de vida de $^3\text{H}_4$ (minutos)	0,30	0,30	0,29	0,32	0,27
Tiempo de vida de $^3\text{F}_4$ (minutos)	2,0	2,4	2,0	2,1	1,80
Relación $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$	6,6	8	6,8	6,5	6,6

10

Vidrios de columnas diferentes de la misma tabla contienen cantidades diferentes de  $\text{Tm}^{3+}$  y  $\text{Ho}^{3+}$ . Dentro de una tabla, se hicieron cambios sólo con respecto a las concentraciones de  $\text{Tm}^{3+}$  y  $\text{Ho}^{3+}$  y el vidrio base se mantuvo así constante. El vidrio A de la tabla 1A es básicamente el mismo que el vidrio A de la tabla 1B, excepto en el componente de CsCl de la tabla 1A. Lo mismo se mantiene para el vidrio B de la tabla 1A con respecto al vidrio B de la tabla 1B, etc.

15

El proceso de amplificación requiere que la relación entre los tiempos de vida superior e inferior  $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$  sea menor que 1. Es imposible tener amplificación con esta relación igual o mayor que 1, en cuyo caso la población en el nivel inferior sería siempre mayor que en el nivel superior sin la inversión de población requerida para una emisión estimulada. Una relación menor implica una amplificación más eficiente.

20

Cuando se comparan las tablas 1A y 1B, se muestra claramente el efecto de la presente invención. Todos los vidrios convencionales de la tabla 1B tienen valores de la relación  $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$  demasiado altos (todos por encima de 6) para ser adecuados para amplificación óptica. Sin embargo, incluyendo un haluro de metal alcalino, como CsCl, en la composición del vidrio, como en la tabla 1A, se obtiene inversión de los tiempos de vida de transiciones entre niveles  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$  de  $\text{Tm}^{3+}$  cuando se impurifica también con iones  $\text{Ho}^{3+}$ . Es evidente que, por medio de la presente invención, se puede despoblar el nivel inferior  $^3\text{F}_4$  de iones  $\text{Tm}^{3+}$  y su tiempo de vida hecho para asumir un valor menor que el del tiempo de vida del nivel superior  $^3\text{H}_4$ . Las composiciones de los vidrios E y F de la tabla 1A, que contienen CsCl y están impurificados con Tm y Ho, tienen relaciones  $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$  inferiores a 1. Esto se debe comparar con las correspondientes composiciones de vidrios sin CsCl, esto es, los vidrios E y F de la tabla 1B, que tienen relaciones  $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$  mucho mayores (6,5 y 6,6).

25

30

En los vidrios que contienen el haluro de metal alcalino, un contenido mayor de Ho implica una relación  $^3\text{F}_4 / ^3\text{H}_4$  menor. Generalmente no es deseable incrementar la concentración de Ho por encima de 2% puesto que entonces puede ocurrir cristalización del vidrio. Para conseguir los excelentes tiempos de vida indicados en la tabla 1A, es deseable un vidrio que contenga por lo menos 0,5% en moles de  $\text{Ho}_2\text{O}_3$ . Como se indica en la tabla, el contenido de  $\text{Ho}_2\text{O}_3$  puede exceder ventajosamente al contenido de  $\text{Tm}_2\text{O}_3$ .

35

Añadiendo CsCl a los vidrios anteriores de  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3\text{-Tm}_2\text{O}_3\text{-Ho}_2\text{O}_3$  se producen enlaces Te-Cl o Te-O-Cl que crean variación en la simetría del campo cristalino de tal manera que la densidad de vibración del estado de la matriz proporciona un mecanismo para la despoblación de energía de estado  $^3\text{F}_4$ . El componente de haluro de metal alcalino es el responsable principal de este acortamiento del tiempo de vida de  $^3\text{F}_4$ .

La relación mejorada del tiempo de vida obtenida de acuerdo con la presente invención está relacionada con los cambios de estructura del vidrio. Se consigue la estructura ventajosa combinando un elemento muy electronegativo, como uno de los haluros F, Cl, Br y I, con uno de los metales alcalinos Li, Na, K, Rb, Cs y Fr. El haluro muy electronegativo debe ser lo suficientemente fuerte para reemplazar enlaces de oxígeno del TeO<sub>2</sub>. Esta función ha sido confirmada por resultados experimentales (véase más adelante).

En cuanto al papel exacto del haluro de metal alcalino (CsCl en una realización preferida), son convincentes los siguientes mecanismos. El elemento haluro Cl muy reactivo puede ser responsable de la creación de centros de carga alrededor del ion del metal de las tierras raras, lo cual incrementa el campo cristalino alrededor de los iones. El campo cristalino rompe las reglas de selección que no permiten la disminución del tiempo de vida de la transición <sup>3</sup>F<sub>4</sub> a <sup>3</sup>H<sub>6</sub>. La inclusión de CsCl también podría ayudar a incrementar el ancho de banda porque los campos cristalinos cambiarían de modo no homogéneo los niveles de transición. Otra posibilidad es que el haluro pueda crear nuevos canales no radiactivos para la transferencia de carga con el nivel <sup>3</sup>F<sub>4</sub>.

Además, se ha demostrado que el ion Cl de un vidrio de acuerdo con la presente invención reemplaza un O del TeO<sub>2</sub> produciendo un enlace Te-Cl. La figura 3 contiene espectros de infrarrojos de una composición de vidrio de telurito con CsCl (curva inferior, Te:Cl) y de una composición de vidrio sin CsCl (curva superior, Te:O). La flecha indica vibraciones de los enlaces Te-Cl. Las bandas del enlace Te-Cl están presentes sólo en el vidrio de CsCl-TeO<sub>2</sub>.

Una ventaja principal de la presente invención es que se puede usar para ensanchar la región de amplificación a la banda S. Otra ventaja se basa en el hecho de que el vidrio propuesto no sólo presenta el acortamiento deseado del tiempo de vida sino que también mejora las propiedades termofísicas para estirar fibras ópticas. Además, tiene excelente duración química, temperatura de fusión (baja) y ancho de línea de ganancia.

Para conseguir la mejor transferencia de energía de acuerdo con la presente invención se puede usar cualquier haluro de metal alcalino XY, en el que X es Li, Na, K, Rb, Cs y Fr e Y es F, Cl, Br y I. Sin embargo, se prefieren vidrios que incluyen haluros Cl, como CsCl, NaCl y KCl. En particular, una realización más ventajosa (ejemplificada, por ejemplo, en la tabla 1) consigue tiempos de vida favorables del nivel de energía mediante CsCl.

En cuanto a la cantidad de haluro de metal alcalino XY que se debe añadir a un vidrio para obtener una transferencia apropiada de energía y un acortamiento del tiempo de vida, los resultados experimentales indican que generalmente es suficiente alrededor de 10% en moles o incluso menos. Hay un cambio bastante definido de la estabilidad térmica alrededor del 5% en moles y más de 12% en moles de haluro de metal alcalino origina también propiedades inferiores observadas del vidrio, como inicio de la cristalización del vidrio y una caída repentina en el intervalo de la estabilidad térmica. En consecuencia, la cantidad de haluro de metal alcalino XY en una composición de vidrio de acuerdo con la presente invención debe ser 4-12% en moles. Los vidrios preferidos comprenden por lo menos 8% en moles de XY y los vidrios más preferidos contienen aproximadamente 10% en moles, por ejemplo, 9-11% en moles de haluro de metal alcalino XY.

A continuación se describen ejemplos de composiciones de vidrio de acuerdo con la presente invención. En un primer ejemplo de vidrio, como punto de partida se usó una familia conocida de vidrio multicomponente, más específicamente la familia de TeO<sub>2</sub>-ZnO-Na<sub>2</sub>O-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (denominada en lo sucesivo TZNBi), descrita en la referencia [3]. La modificación principal de la composición original de TZNBi es la adición de haluro de metal alcalino XY a favor del contenido de TeO<sub>2</sub>. Un segundo ejemplo de vidrio de telurito comprende WO<sub>3</sub>, denominado vidrio TW (los vidrios TW se pueden basar, por ejemplo, en la familia de vidrios descrita en la referencia [4]).

Tabla 2

Vidrio	TeO <sub>2</sub>	ZnO	R <sub>2</sub> O	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	XY	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TZNBi	55-90	0-35	0-35	0-20	4-12	0,2-2	0,2-2

La tabla 2 contiene intervalos de porcentajes en moles, por ejemplo, de vidrios TZNBi de acuerdo con la presente invención. Las sustancias ZnO, R<sub>2</sub>O ( R = Li, Na, K, Rb, Cs) y Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tienen intervalos con cero como límite inferior, pero son números positivos, no admitiéndose actualmente el valor cero. En otras palabras, los vidrios propuestos de TZNBi contienen siempre una cierta cantidad de estas sustancias. Como se ha mencionado anteriormente, el contenido de XY en los vidrios es preferiblemente entre 9 (o por lo menos 8) y 11% en moles. Preferiblemente los vidrios están impurificados con 0,2 a 2% en moles de Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y con 0,2 a 2% en moles de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Un vidrio preferido de TZNBi incluye Li<sub>2</sub>O (R = Li), que origina un intervalo aún mayor de la estabilidad térmica que el de vidrios con, por ejemplo, Na<sub>2</sub>O. Se puede usar Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para controlar el índice de refracción del vidrio. Normalmente, se pueden usar diferentes cantidades de Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en el filamento central y en el revestimiento, respectivamente.

Tabla 3

Vidrio	TeO <sub>2</sub>	WO <sub>3</sub>	ZnO	R <sub>2</sub> O	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	XY	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TW (I)	15-85	5-55	-	0,5-40	0-15	4-12	0,2-2	0,2-2
TW (II)	15-85	5-20	16	-	4-8	4-12	0,2-2	0,2-2
TW (III)	15-85	5-25	-	-	5-8	4-12	0,2-2	0,2-2

La tabla 3 contiene ejemplos de valores de porcentajes en moles para tres vidrios TW [TW (I)-(III)] de acuerdo con la presente invención. El vidrio TW (I) contiene un óxido de metal alcalino, en el que R se selecciona del grupo formado por Li, Na, K, Rb y Cs mientras que el vidrio TW (II) contiene aproximadamente 16% en moles de ZnO. Se usa Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para conseguir un índice de refracción apropiado. Como antes, preferiblemente el contenido de XY es entre 9 (o por lo menos 8) y 11% en moles y preferiblemente los vidrios están impurificados con 0,2 a 2% en moles de Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y con 0,2 a 2% en moles de Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Se debe indicar que la presente invención también puede ser aplicada muy bien a otros vidrios de telurito distintos de los vidrios TZNBi y TW descritos.

10 Como se ha mencionado, una fibra de vidrio amplificadora preferida de acuerdo con la presente invención está impurificada con tulio y usa holmio como otra impureza conjunta. La elección de la combinación de tulio/holmio para amplificar en la ventana de 1.500 nm se entiende estudiando el diagrama de la figura 4, en el que se presentan niveles de energía de los iones lantánidos Tb<sup>3+</sup>, Dy<sup>3+</sup>, Ho<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup>, Tm<sup>3+</sup> e Yb<sup>3+</sup>, con foco en niveles inferiores de energía.

15 Al investigar sustancias alternativas/complementarias adecuadas al erbio (Er) para amplificar alrededor de la importante región de 1.500 nm, es natural investigar metales de las tierras raras próximos al Er en el sistema periódico. En la figura 4, se proporcionan flechas para indicar la transición del Er a 1.550 nm y las correspondientes transiciones y la línea de tendencia indica la tendencia de los niveles a incrementar energía a la derecha de la tabla periódica. Es notable que la transición <sup>3</sup>H<sub>4</sub> a <sup>3</sup>F<sub>4</sub> del Tm<sup>3+</sup> sea de energía comparativamente alta yendo a la banda S (1.470 nm). Las transiciones de Ho tienden a longitudes de onda mayores (banda L): la transición <sup>5</sup>I<sub>7</sub> a <sup>5</sup>I<sub>8</sub> está ya en la región de 2.000 nm, lejos de 1.500 nm. La transición <sup>5</sup>F<sub>5/2</sub> a <sup>5</sup>F<sub>7/2</sub> también está lejos de la banda S. En consecuencia, para la amplificación óptica alrededor de 1.500 nm, el Tm es una elección apropiada (además del Er) y se deben usar los niveles más bajos de energía del Tm. La transición <sup>3</sup>F<sub>5</sub> a <sup>5</sup>H<sub>6</sub> del Tm, por ejemplo, es demasiado alta para ser interesante.

25 En la investigación de un aceptor adecuado para la transferencia de energía desde el nivel <sup>3</sup>F<sub>4</sub> del Tm<sup>3+</sup>, es deseable otro ion o molécula con un nivel de energía ligeramente más bajo, al que se pueda transferir la energía. Si el desajuste de nivel es demasiado grande, la transferencia de energía es menos eficiente. Por lo tanto, normalmente se usan las sustancias más próximas (en la tabla periódica) y el Ho es muy adecuado. Sin embargo, puede haber realizaciones de la presente invención que transfieran energía desde el Tm a otros iones lantánidos distintos del Ho, incluidos niveles de iones Dy y Tb con energía menores que el nivel <sup>3</sup>F<sub>4</sub> (véase el círculo en la figura 4). Una ventaja de usar Tb como aceptor es que el Tb tiene varios niveles diferentes a los que transferir la energía.

35 Aunque la presente invención es especialmente ventajosa y ha sido explicada para amplificar alrededor de 1.500 nm usando Tm como impureza, se debe recalcar que es útil para vidrios de telurito impurificados también con otros iones lantánidos. La transferencia de energía es útil en situaciones en las que el tiempo de vida de los niveles superior e inferior es más corto que el nivel inferior uno. El tiempo de vida de un electrón en un cierto nivel de energía depende del número de caminos (canales) que ha de caer a energías más bajas. El electrón puede caer a niveles inferiores de energía en caminos radiactivos y no radiactivos. La caída no radiactiva sucede mediante emisión de fonones que alejan la energía en exceso, transformando en calor la energía en exceso. Las energías de fonones son características principales. La eficiencia de la emisión de fonones depende del número de fonones necesarios para que el electrón alcance el estado más bajo, por lo que se requiere que los niveles superior e inferior estén suficientemente próximos. Cuando los niveles se diferencian en energías de unos pocos fonones, la caída no radiactiva es muy eficiente y el tiempo de vida no radiactiva es muy corto en comparación con los tiempos de vida radiactiva.

45 Por otro lado, en el caso de niveles bien separados del nivel inferior más próximo, la única caída práctica es la radiactiva, usualmente mucho más lenta que las caídas no radiactivas. Por lo tanto, para construir la población del nivel superior se buscan estos niveles bien separados en los que el tiempo de vida de la fluorescencia es largo. Lo ideal es que el nivel inferior esté siempre vacío con lo que la población del nivel superior es siempre mayor que la población del nivel inferior. Cuando la separación de energía del nivel es aproximadamente 2.000 cm<sup>-1</sup>, generalmente la caída no radiactiva es muy rápida, manteniendo vacío el nivel inferior.

50 La tabla 4 relaciona una serie de combinaciones de donantes y aceptores posibles para las que puede ser útil el mecanismo mejorado de transferencia de energía de acuerdo con la presente invención para disminuir el tiempo de

vida del nivel inferior. Las combinaciones se refieren a transiciones en las que los niveles superior e inferior son más de 2.000 cm<sup>-1</sup> desde el nivel inferior más próximo.

Tabla 4

Donante	Aceptor	Transferencia de energía
Dy <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Eu <sup>3+</sup> o Tb <sup>3+</sup>	<sup>4</sup> F <sub>9/2</sub> → <sup>6</sup> H <sub>13/2</sub>
Ho <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Eu <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> o Tb <sup>3+</sup>	<sup>4</sup> S <sub>2</sub> → <sup>6</sup> I <sub>6</sub>
Tm <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Eu <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Tb <sup>3+</sup> u Ho <sup>3+</sup>	<sup>4</sup> D <sub>2</sub> → <sup>1</sup> G <sub>4</sub>
Er <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Eu <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Tb <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> o Tm <sup>3+</sup>	<sup>4</sup> S <sub>3/2</sub> → <sup>4</sup> F <sub>9/2</sub>
Ho <sup>3+</sup>	Sm <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Er <sup>3+</sup> o Tm <sup>3+</sup>	<sup>3</sup> I <sub>6</sub> → <sup>3</sup> I <sub>7</sub>
Pr <sup>3+</sup>	Sm <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> , Er <sup>3+</sup> , Tm <sup>3+</sup> o Yb <sup>3+</sup>	P <sub>0</sub> → <sup>1</sup> D <sub>2</sub>
Er <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> , Tm <sup>3+</sup> o Yb <sup>3+</sup>	<sup>4</sup> S <sub>3/2</sub> → <sup>4</sup> F <sub>9/2</sub>
Tm <sup>3+</sup>	Nd <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> o Er <sup>3+</sup>	<sup>3</sup> F <sub>4</sub> → <sup>3</sup> H <sub>4</sub>
Er <sup>3+</sup>	Nd <sup>3+</sup> , Dy <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> o Tm <sup>3+</sup>	<sup>4</sup> I <sub>11/2</sub> → <sup>4</sup> I <sub>13/2</sub>
Pr <sup>3+</sup>	Nd <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> , Er <sup>3+</sup> o Tm <sup>3+</sup>	<sup>1</sup> D <sub>2</sub> → <sup>1</sup> G <sub>4</sub>
Eu <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> , Er <sup>3+</sup> o Tm <sup>3+</sup>	D <sub>3</sub> → D <sub>0</sub>
Tb <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> o Er <sup>3+</sup>	<sup>5</sup> D <sub>3</sub> → <sup>5</sup> D <sub>4</sub>
Tm <sup>3+</sup>	Pr <sup>3+</sup> , Nd <sup>3+</sup> , Sm <sup>3+</sup> , Eu <sup>3+</sup> , Tb <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> o Er <sup>3+</sup>	<sup>3</sup> H <sub>4</sub> → <sup>3</sup> H <sub>6</sub>

5 Se debe entender que, aunque en la técnica anterior se han presentado vidrios de telurito con haluros, estos vidrios anteriores son vidrios binarios en los que la función del haluro es completamente diferente. De acuerdo con la presente invención, se propone un nuevo mecanismo y uso del haluro de metal alcalino (preferiblemente CsCl).

10 En la referencia [5], por ejemplo, se incluye un haluro de metal alcalino en un vidrio de telurito con el fin de formar el vidrio. Se usó el vidrio binario (1-x)TeO<sub>2</sub> - xLiCl (x = 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 y 0,7), composición en la que se necesita LiCl para formar el vidrio. Por otro lado, una matriz de vidrio multicomponente de acuerdo con la presente invención, como TeO<sub>2</sub>-ZnO-Li<sub>2</sub>O-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, puede formar vidrios con independencia de si está presente o no un haluro. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención el haluro no es necesario para formar el vidrio sino que se añade para conseguir la mejora descrita de transferencia de energía e inversión del tiempo de vida.

15 La referencia [6] usa el haluro metálico ZnCl<sub>2</sub> para reducir el contenido de hidroxilo durante el procesamiento de la fibra para mejorar las características de amplificación. De acuerdo con este documento, la concentración de haluro depende de la concentración de hidroxilo y en esta referencia [6] se usó un vidrio binario con 40% en moles de ZnCl<sub>2</sub>. De acuerdo con la presente invención, en su lugar se propone que el haluro tiene un papel directo acercando los iones o rompiendo el campo cristalino alrededor de los iones facilitando el mecanismo de transferencia de energía. Esto supone una gran diferencia en las estrategias de uso del haluro. Si sólo se desea eliminar grupos OH, como en la referencia [6], la concentración de haluro depende de la concentración de OH. Sin embargo, se ha descubierto que tiene un papel directo más fuerte como modificador del vidrio y, por lo tanto, se usan otros criterios de concentraciones, familia principal del vidrio, así como otros haluros.

20 La presente invención propone usar cantidades bien especificadas de haluro de metal alcalino en un vidrio multicomponente que contiene un lantánido como impureza y otro lantánido como impureza conjunta para disminuir el tiempo de vida de la transición. Es apropiado un contenido de haluro de metal alcalino de 4-12 (preferiblemente alrededor de 10) % en moles. En este contexto no sería aplicable el alto contenido de haluro de metal alcalino (30-70%) o de haluro de Zn (40%) usado en las referencias [6] y [5], respectivamente.

30 Una fibra amplificadora óptica de acuerdo con la presente invención puede presentar ventajosamente la estructura básica descrita anteriormente con referencia a la figura 1. En otras palabras, la figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un ejemplo de realización de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención. La fibra óptica 10 comprende el filamento central 12, el revestimiento 14 y también preferiblemente el revestimiento protector 16. El filamento central comprende un vidrio multicomponente de telurito impurificado con un primer óxido de un lantánido (preferiblemente Tm) e impurificado también con un segundo óxido de otro lantánido (preferiblemente Ho) y que incluye 4-12% en moles de por lo menos un haluro de metal alcalino XY para aumentar la transferencia de energía desde el primer ion lantánido al segundo ion lantánido (X = Li, Na, K, Rb, Cs y Fr, e Y = F, Cl, Br y I).

Preferiblemente la cantidad de haluro de metal alcalino XY se selecciona de modo que la relación entre los tiempos de vida relativos de energía superior e inferior del primer ion lantánido se reduce a un valor por debajo de uno.

5 Es importante que las composiciones del vidrio del filamento central y del revestimiento sean aproximadamente iguales para evitar un desajuste significativo del coeficiente de dilatación. Generalmente, la máxima diferencia tolerable entre los vidrios del filamento central y de la envoltura está en el intervalo de 5%. En una realización preferida, se usa la misma composición de vidrio de telurito como base para el filamento central 12 y para el revestimiento 14 de la fibra óptica 10. El vidrio del filamento central puede estar impurificado y modificado para contener una cantidad mayor de una sustancia usada para control del índice de refracción.

10 Preferiblemente, la sustancia usada para control del índice de refracción es  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  o  $\text{Nb}_2\text{O}_3$  y el índice de refracción del vidrio del filamento central es aproximadamente 2% mayor que el del vidrio del revestimiento. La diferencia en los índices de refracción puede asumir fácilmente cualquier valor deseado entre 0,2 y 6% por adición de cantidades apropiadas de  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  o  $\text{Nb}_2\text{O}_3$ . El hecho de que la fibra óptica de vidrio de telurito de acuerdo con la presente invención permite controlar el índice de refracción con  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Nb}_2\text{O}_3$  constituye otra ventaja de la invención.

15 Se debe indicar que la estructura de la fibra óptica de la figura 1 está simplificada. Otras fibras ópticas de acuerdo con la presente invención pueden presentar estructuras más complejas con componentes no simétricos, filamentos centrales de índices variables, más de un revestimiento, etc.

20 Como se ha mencionado, el vidrio propuesto no sólo presenta el acortamiento deseado del tiempo de vida sino también mejores propiedades termofísicas, como un intervalo muy amplio de estabilidad térmica, que lo hace adecuado para estirar fibras ópticas. A continuación se describe un ejemplo de procedimiento de fabricación de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención, basado en el método denominado de varilla en tubo. Se mezclan los componentes del vidrio multicomponente, incluido el telurito y 4-12% en moles del haluro de metal alcalino XY. Mientras que el telurito y los componentes lantánidos se introducen preferiblemente en forma de óxidos y los óxidos de metales alcalinos como carbonatos o nitratos, los haluros de metal alcalino se pueden introducir directamente, esto es, en forma de sales CsCl, NaCl, KCl, etc. Se calienta la mezcla para formar un fundido del vidrio. Se baja la temperatura del fundido del vidrio y, a la temperatura de estirado, se estira la varilla central. Preferiblemente el índice de refracción de la varilla central se controla con  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  o con  $\text{Nb}_2\text{O}_3$ . El vidrio central se impurifica con óxidos de lantánidos, como  $\text{Tm}_2\text{O}_3$  y  $\text{Ho}_2\text{O}_3$ .

30 Después, se forma un tubo de revestimiento disponiendo fundido del vidrio de revestimiento en un tubo de sílice y separando el tubo de revestimiento del tubo de sílice enfriando el agregado. Puesto que los coeficientes de dilatación de la sílice y del vidrio de telurito difieren considerablemente, el tubo de revestimiento se desprenderá en el proceso de estirado en frío. La varilla central está dispuesta en el tubo de revestimiento y a partir de la preforma se estira una fibra óptica a una temperatura de estirado apropiada. Preferiblemente el estirado se realiza en una torre de estirado con un horno de grafito con una zona de calentamiento de menor o igual longitud al diámetro de la preforma para evitar que la gota inicial de vidrio sea inestable. Después de caer la primera gota de vidrio, la velocidad de empuje controla el diámetro de la fibra óptica. El proceso de estirado lo facilita el intervalo amplio de la estabilidad térmica de la composición de vidrio y las fibras estiradas de acuerdo con la presente invención describen un mínimo de características erróneas.

35 La figura 5 es un diagrama esquemático de bloques de un ejemplo de realización de un amplificador óptico de acuerdo con la presente invención. El amplificador óptico ilustrado 20 comprende medios de procesamiento de señales 22, acopladores 24, fuentes de luz de bombeo 26 y una fibra óptica amplificadora 28. Una señal óptica débil que ha de ser amplificada entra en el amplificador 20. La señal de entrada pasa primero por medios opcionales de procesamiento de la señal 22a, que modifican la señal de un modo apropiado. La fibra amplificadora 28 es bombeada en ambos extremos con láseres de bombeo o fuentes similares de luz de bombeo 26a y 26b. Los acopladores 24a y 24b, embebidos por ejemplo como espejos, combinan la luz de excitación proporcionada por las fuentes de luz de bombeo con la luz de la señal. En la fibra amplificadora 28, la luz de excitación hace que los iones de metales de las tierras raras (por ejemplo,  $\text{Tm}^{3+}$ ) adquieran un estado excitado temporal. Cuando los electrones pierden energía, se libera luz y se incrementa así la ganancia de la señal óptica. Finalmente, la señal amplificada se modifica en los medios opcionales de procesamiento de la señal 22b. Del amplificador sale una señal óptica comparativamente fuerte.

40 La fibra óptica amplificadora 28 del amplificador óptico 20 comprende un filamento central de vidrio de telurito impurificado con un lantánido. El filamento central y/o el revestimiento incluyen 4-12% en moles de haluro de metal alcalino XY. La fibra puede comprender ventajosamente una de las composiciones antes descritas de vidrio multicomponente. La fibra amplificadora 28 se destina preferiblemente a funcionar en una región de longitud de onda próxima a 1,5  $\mu\text{m}$  impurificándola con Tm. Es apropiado usar fuentes de luz de bombeo 26 que generan luz de excitación a 980 nm.

55 Los medios de procesamiento de la señal 22 comprenden preferiblemente aislantes, cuya finalidad es evitar reflexiones no deseadas y suprimir oscilaciones del amplificador. Los medios de procesamiento de la señal 22 también pueden incluir dispositivos de modulación, filtración, polarización, absorción, atenuación, etc.

El amplificador óptico de acuerdo con la figura 5 se puede someter, por supuesto, a diversas modificaciones evidentes a los expertos. Por ejemplo, sería posible usar una única fuente de luz de bombeo (y un único acoplador), aunque dos fuentes de luz de bombeo originan generalmente mejor eficiencia de amplificación. El número y posición de las unidades opcionales de procesamiento de la señal pueden variar y los filtros, etc. pueden ser internos o externos. En el amplificador óptico puede haber más de una fibra amplificadora. Además de la(s) fibra(s) amplificador(as), generalmente hay varias fibras ópticas "ordinarias" no impurificadas que proporcionan conexiones entre componentes de aquellas.

El vidrio amplificador óptico antes descrito también se puede usar en un dispositivo láser.

La figura 6 es un diagrama esquemático de bloques de un ejemplo de realización de un dispositivo láser de acuerdo con la presente invención. Cada componente del dispositivo láser tiene el mismo número de referencia que el correspondiente componente del amplificador (figura 4) más 10. La diferencia principal entre el dispositivo láser y el amplificador óptico es que el dispositivo láser no recibe una señal de entrada sino que tiene medios de reintroducción para la generación de la señal. En consecuencia, el dispositivo láser de la figura 5 comprende dos reflectores 35, situados en extremos opuestos de la fibra amplificadora óptica 35. La luz de excitación procedente de la fuente de luz de bombeo 36 origina la emisión de fotones en la fibra amplificadora 28 del mismo modo que el amplificador óptico. Preferiblemente el primer reflector 35a es un espejo muy reflector, que idealmente refleja todo tipo de luz, mientras que el segundo reflector 35b es un espejo parcialmente transparente. La fracción relativamente pequeña de luz que pasa a través del segundo reflector es la salida del haz del dispositivo láser 30. Medios opcionales de procesamiento de la señal 32 del dispositivo láser pueden incluir dispositivos internos o externos para la modulación, filtración, polarización, conmutación, absorción, etc.

En otra realización (no mostrada) del dispositivo láser de acuerdo con la presente invención, la reintroducción se consigue mediante una estructura anular en la que una parte de la señal de salida se lleva básicamente al acoplador 34a.

Los láseres con vidrios de telurito impurificados con un lantánido, tanto en forma de fibras ópticas como de varilla, ofrecen un par de ventajas importantes en comparación con láseres convencionales. En primer lugar, el mayor ancho de banda permite impulsos más cortos en el caso de láseres de modo sincronizado. En segundo lugar, los láseres de vidrio de telurito tienen un intervalo mayor de sintonización en el caso de láseres cw o de impulsos, lo cual es particularmente importante en aplicaciones espectroscópicas o incluso como fuente de señales en un sistema de comunicaciones WDM. Estas características ventajosas se obtienen usando los vidrios propuestos para elementos de fibras ópticas de acción láser.

Aunque se ha descrito la presente invención con referencia a realizaciones ilustradas específicas, se debe entender que diversas modificaciones y cambios evidentes a los expertos en la técnica también están dentro del alcance de la invención, que queda definida por las reivindicaciones adjuntas.

## REFERENCIAS

- [1] M. Naftaly, S. Shen y A. Jha: "Tm<sup>3+</sup> doped tellurite glass for broadband amplifier at 1,47 μm, Appl. Opt. 39 (27), 4.979-4.984.
- [2] S. Shen, A. Jha, E. Zhang y S.J. Wilson, Compt. Rendu Chimie, 5, pág. 921-938 (2002).
- [3] Nippon T & T, Solicitud de patente europea EP 0 858 976.
- [4] Aitken et al., Patente de Estados Unidos 6.194.334.
- [5] G. Ozen, B. Demirata, M.L. Ovegoglu y A. Geng, "Thermal and optical properties of Tm<sup>3+</sup> doped tellurite glasses", Spectrochim. Acta, parte A 57, 273-280 (2001).
- [6] E.R. Taylor, L.N. Ng y N.P. Sessions, "Spectroscopy of Tm<sup>3+</sup> doped tellurite glasses for 1.470 nm fiber amplifier", J. Appl. Phys., 92, 112-117 (2002).

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Una composición de vidrio multicomponente de telurito, adecuada para amplificadores de fibra óptica e impurificada con un primer ion lantánido y con un segundo ion lantánido, caracterizada porque comprende además 4-12% en moles de por lo menos un haluro de metal alcalino XY, para una mayor transferencia de energía desde el primer ion lantánido al segundo ion lantánido, seleccionándose X del grupo formado por Li, Na, K, Rb, Cs y Fr y seleccionándose Y del grupo formado por F, Cl, Br y I.
2. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la cantidad de haluro de metal alcalino XY es tal que la relación entre los tiempos de vida de los niveles relativos de energía superior e inferior del primer ion lantánido se reduce a un valor por debajo de uno.
- 10 3. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende por lo menos 8% en moles del haluro de metal alcalino XY.
4. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende 9-11% en moles del haluro de metal alcalino XY.
5. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el haluro Y es Cl.
- 15 6. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 5, en la que el haluro de metal alcalino es CsCl.
7. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer ion lantánido es  $Tm^{3+}$  y el segundo ion lantánido se selecciona del grupo formado por  $Nd^{3+}$ ,  $Er^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$  y  $Ho^{3+}$ .
8. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el segundo ion lantánido es  $Ho^{3+}$ .
9. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende (en % en moles):
- 20 55-90% de  $TeO_2$ ,  
4-12% de XY,  
0-35% de  $ZnO$ ,  
0-35% de  $R_2O$ , en el que R es por lo menos un elemento seleccionado del grupo formado por Na, Li, K, Rb y Cs, y
- 25 0-20% de  $Bi_2O_3$ ,  
siendo cada una de las cantidades de  $ZnO$ ,  $R_2O$  y  $Bi_2O_3$  mayor que cero.
10. La composición de vidrio de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende (en % en moles):
- 15-85% de  $TeO_2$ ,  
4-12% de XY,
- 30 0-35% de  $WO_3$ , y  
0-20% de  $Nb_2O_5$ .
11. Una fibra amplificadora óptica (10) que comprende un filamento central (12) rodeado de por lo menos un revestimiento (14), en la que el filamento central está formado al menos parcialmente de la composición de vidrio multicomponente de telurito de acuerdo con la reivindicación 1.
- 35 12. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, en la que la cantidad de haluro de metal alcalino en la composición de vidrio es tal que la relación de los tiempos de vida de los niveles relativos de energía superior e inferior del primer ion lantánido se reduce a un valor por debajo de uno.
13. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, en la que la composición de vidrio comprende por lo menos 8% en moles del haluro de metal alcalino XY.
- 40 14. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, en la que la composición de vidrio comprende 9-11% en moles del haluro de metal alcalino XY.
15. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, en la que el haluro Y de la composición de vidrio es Cl.
- 45 16. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 15, en la que el haluro de metal alcalino XY de la composición de vidrio es CsCl.

17. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, en la que el primer ion lantánido de la composición de vidrio es  $Tm^{3+}$  y el segundo ion lantánido se selecciona del grupo formado por  $Nd^{3+}$ ,  $Er^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ,  $Tbr^{3+}$  y  $Ho^{3+}$ .
18. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 17, en la que el segundo ion lantánido de la composición de vidrio es  $Ho^{3+}$ .
- 5 19. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, en la que la composición de vidrio comprende (en % en moles):
- 55-90% de  $TeO_2$ ,
  - 4-12% de XY,
  - 0-35% de  $ZnO$ ,
- 10 0-35% de  $R_2O$ , en el que R es por lo menos un elemento seleccionado del grupo formado por Na, Li, K, Rb y Cs, y
- 0-20% de  $Bi_2O_3$ ,
- siendo cada una de las cantidades de  $ZnO$ ,  $R_2O$  y  $Bi_2O_3$  mayor que cero.
20. La fibra amplificadora de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende (en % en moles):
- 15 15-85% de  $TeO_2$ ,
- 4-12% de XY,
  - 0-35% de  $WO_3$ , y
  - 0-20% de  $Nb_2O_5$ .
21. Un amplificador óptico (20) que incluye una fibra amplificadora óptica (28) de acuerdo con la reivindicación 11.
- 20 22. El amplificador óptico de acuerdo con la reivindicación 21, en el que la composición de vidrio comprende 9-11% en moles del haluro de metal alcalino XY.
23. El amplificador óptico de acuerdo con la reivindicación 21, en el que el haluro Y de la composición de vidrio es Cl.
- 25 24. El amplificador óptico de acuerdo con la reivindicación 23, en el que el haluro de metal alcalino XY de la composición de vidrio es CsCl.
25. El amplificador óptico de acuerdo con la reivindicación 21, en el que el primer ion lantánido de la composición de vidrio es  $Tm^{3+}$  y el segundo ion lantánido se selecciona del grupo formado por  $Nd^{3+}$ ,  $Er^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ,  $Tbr^{3+}$  y  $Ho^{3+}$ .
26. El amplificador óptico de acuerdo con la reivindicación 25, en la que el segundo ion lantánido de la composición de vidrio es  $Ho^{3+}$ .
- 30 27. Un dispositivo láser (30) que incluye una fibra amplificadora óptica (38), en el que la fibra amplificadora óptica está formada al menos parcialmente de la composición de vidrio multicomponente de telurito de acuerdo con la reivindicación 1.
28. Un método de fabricar una fibra amplificadora óptica a partir de una mezcla de formación de vidrio que incluye  $TeO_2$  y que está impurificada con un primer ion lantánido y con un segundo ion lantánido, que comprende las etapas de:
- 35 añadir 4-12% en moles de un haluro de metal alcalino XY a la mezcla, para aumentar la transferencia de energía desde el primer ion lantánido al segundo ion lantánido, seleccionándose X del grupo formado por Li, Na, K, Rb, Cs y Fr y seleccionándose Y del grupo formado por F, Cl, Br y I, y
- estirar de la mezcla, a una temperatura predeterminada de estirado, un elemento de fibra óptica.

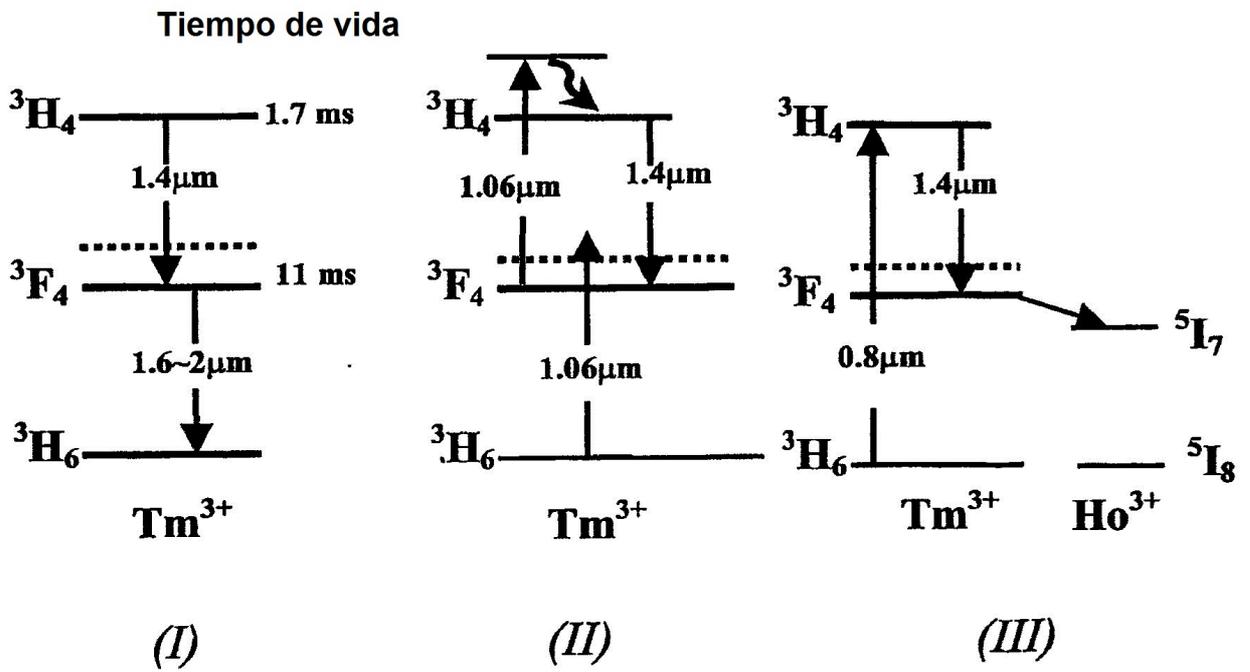
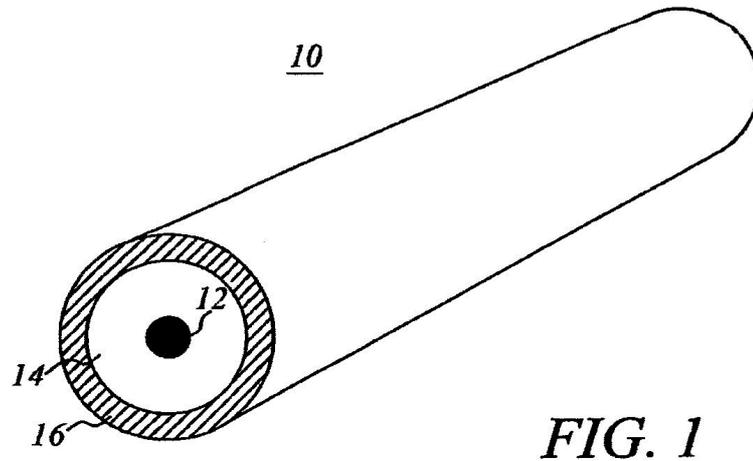


FIG. 2

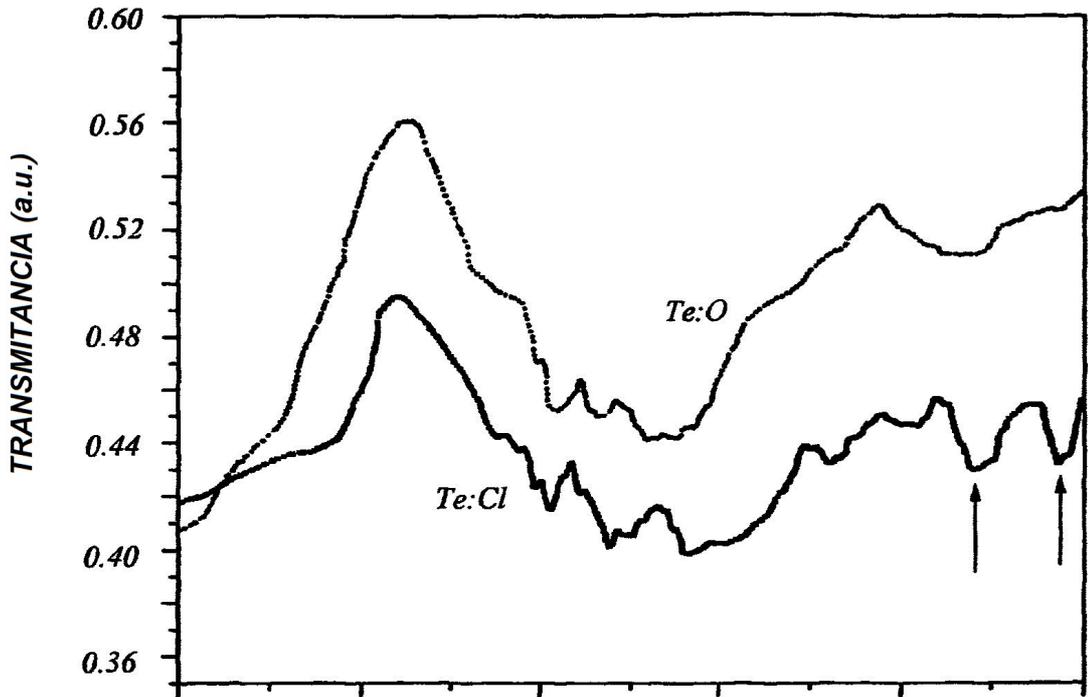


FIG. 3 600 500 400 300 200 100  
NÚMERO DE ONDA (1/cm)

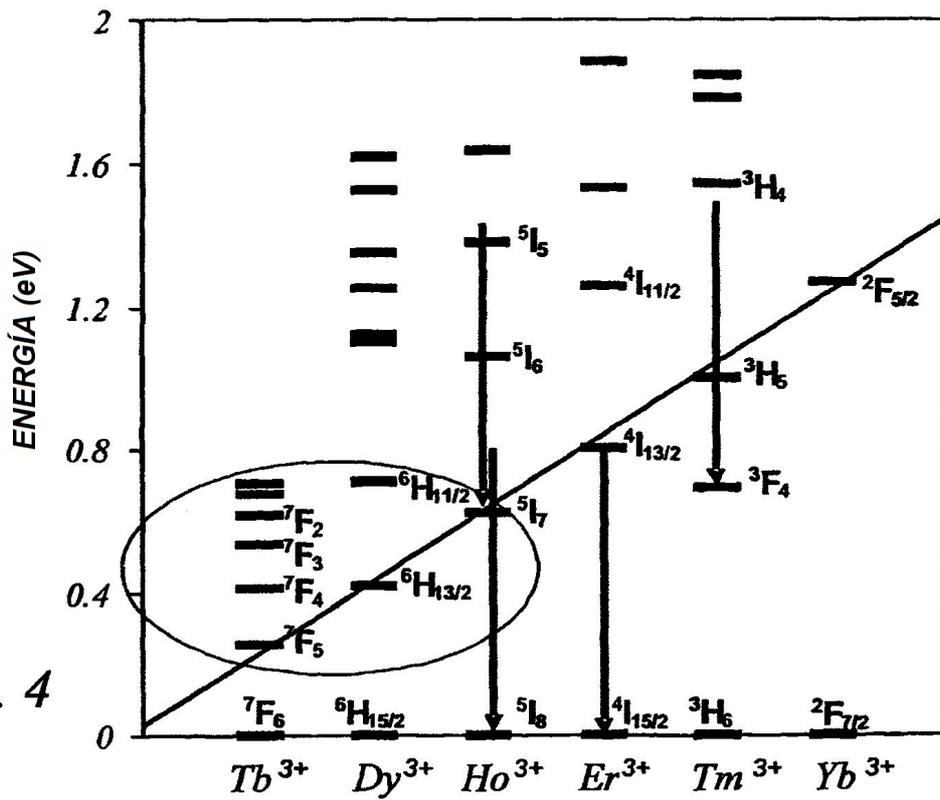
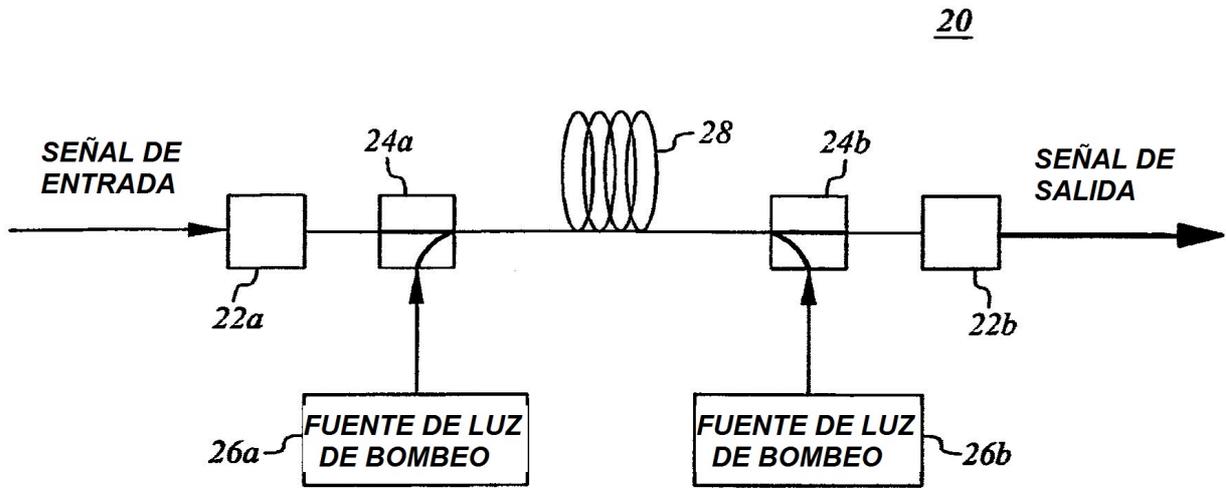
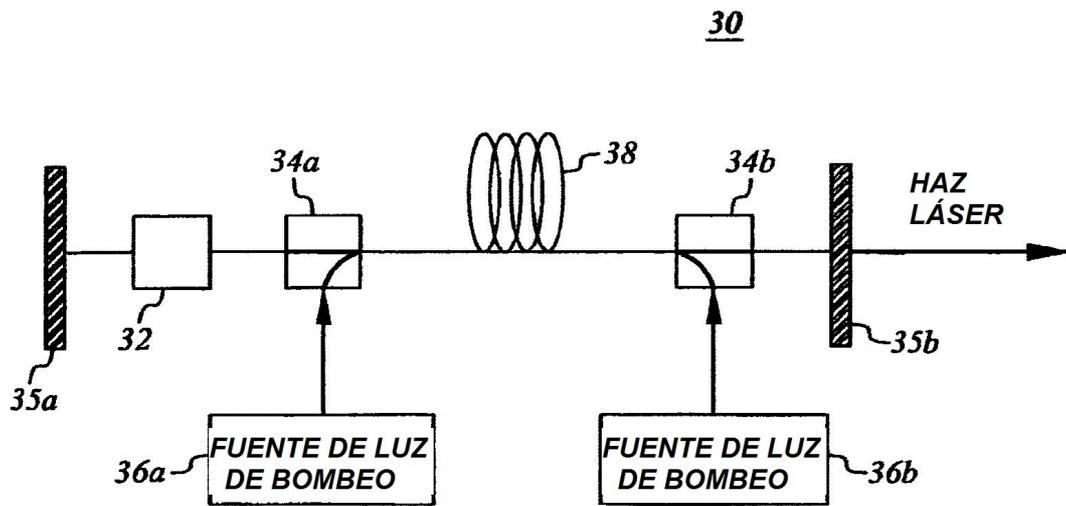


FIG. 4



*FIG. 5*



*FIG. 6*