

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 868**

51 Int. Cl.:

**G02F 1/365** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2008 PCT/DK2008/000012**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.07.2008 WO08083686**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2008 E 08700884 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2111564**

54 Título: **Mejoras en la duración de la vida útil y en el rendimiento de fibras microestructuradas mediante la carga a alta temperatura**

30 Prioridad:

**12.01.2007 DK 200700050**

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

**18.06.2018**

73 Titular/es:

**NKT PHOTONICS A/S (100.0%)  
Blokken 84  
3460 Birkerød, DK**

72 Inventor/es:

**THOMSEN, CARSTEN, L.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 672 868 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Mejoras en la duración de la vida útil y en el rendimiento de fibras microestructuradas mediante la carga a alta temperatura

**Campo técnico**

- 5 La invención se relaciona específicamente con un sistema supercontinuo óptico que comprende una fibra óptica que comprende un núcleo y un revestimiento que comprenden, cada uno, un material de núcleo y un material de revestimiento, respectivamente, en el que dicha fibra es una óptica microestructurada no lineal.

**Antecedentes de la técnica**

- 10 Más recientemente, se ha desarrollado una fibra óptica denominada fibra microestructurada, fibra de cristal fotónico (PCF) o fibra agujereada (a un caso especial de tales fibras se hace referencia a veces como un fibra de banda fotónica prohibida (PBG)). Esta PCF comprende un revestimiento hecho de un material transparente en el cual está embebida una disposición de agujeros a lo largo de la longitud de la fibra [J.C. Knight, et al., Opt. Lett. 21 (1996) p. 1547. Errata: Opt. Lett. 22 (1997) p. 484]. Los agujeros están dispuestos, normalmente, transversalmente en una disposición periódica y están rellenos de un material el cual tiene un índice de refracción inferior que el resto del revestimiento. El centro de la fibra comprende, normalmente, una región transparente la cual rompe la periodicidad del revestimiento, esta región a menudo funciona como el núcleo de la fibra. No obstante, en principio, esta región no necesita estar en el centro de la sección transversal. Normalmente, la sección transversal de la fibra comprende una región de núcleo que comprende un material de región de núcleo, circundado por una región de revestimiento que comprende agujeros (opcionalmente rellenos de aire o un gas), elementos microestructurales sólidos o líquidos embebidos en un material de base del revestimiento extendiéndose ambas regiones en una dirección longitudinal de la fibra óptica. Normalmente, el núcleo guiará el 80% o más de la luz en las longitudes de onda operativas de la fibra. Típicamente, tanto el núcleo como el revestimiento están hechos de sílice fundido puro y los agujeros están rellenos de aire. En una variación de la misma, la PCF comprende varillas dispuestas transversalmente de otro material en lugar de agujeros. Tales fibras están divulgadas, por ejemplo, en el documento de patente internacional WO37974 el cual también divulga las PCFs con agujeros dispuestos transversalmente.

- Las de tipo PCF se producen generalmente a partir de unidades conformadas en varilla las cuales son apiladas para formar una preforma la cual, después de esto, es estirada en uno o más pasos para formar la fibra óptica final. En 2D Photonic band gap structures in fibre form, T. A. Birks et al. "Photonic Band Gap Materials", Kluwer, 1996 se divulga un método de producir un preforma a partir de varillas en forma de tubos capilares apilando los tubos. Un método de fabricación de PCFs también se describe en el capítulo IV, pp. 115-130 de "Photonic crystal fibres", Kluwer Academic Press, 2003, por Bjarklev, Broeng y Bjarklev.

- El documento de patente internacional WO 3078338 divulga un método de producir una preforma para una fibra óptica microestructurada en el que se colocan una pluralidad de elementos alargados en paralelo unos con otros en un recipiente en el que después al menos una porción de dicho recipiente es rellena de una solución que contiene sílice, la cual es secada y sinterizada.

- Las fibras ópticas microestructuradas son un campo técnico relativamente nuevo en el que las propiedades de la guía de ondas pueden diseñarse con un grado de libertad relativamente grande. Tales fibras están hechas, normalmente, de sílice puro comprendiendo un patrón, hecho a menudo de agujeros o vidrio dopado, que se extiende en la dirección longitudinal de la fibra. La libertad de diseño hace tales fibras interesantes para aplicaciones que requieren propiedades no lineales específicas de la fibra. Una de tales aplicaciones es la generación supercontinua en la que una fuente basada en una fibra es capaz de generar una salida espectral ancha. La generación supercontinua (SC) en fibras microestructuradas ha sido estudiada durante varios años como una fuente de luz de banda ancha coherente espacialmente (llamada luz blanca o supercontinua). Mientras se descubren continuamente nuevas aplicaciones de tales fuentes, varias han sido ya identificadas, tales como diferentes formas de microscopía de fluorescencia, espectroscopía láser de alta precisión y tomografía óptica coherente (OCT). La emisión de alta brillantez en la parte visible del espectro es especialmente importante para microscopía de fluorescencia confocal. No obstante, potencia insuficiente en la parte de longitudes de onda cortas del espectro han impedido, hasta ahora, que las fuentes SC desvelen su potencial completo dentro de este campo. La generación SC visible de alta potencia ha sido el objetivo en los experimentos presentados aquí.

- La mayoría de la investigación se ha basado hasta ahora en alimentar la fibra no lineal con láseres de femtosegundos (fs) pero también se ha probado la generación SC usando láseres de nanosegundos y picosegundos (ps). Éste último reduce tanto el coste como la complejidad del sistema al tiempo que mantiene una alta tasa de repetición y generación SC eficiente. Además, generalmente, es posible generar espectros SC más uniformes espectralmente en el dominio ps donde también están disponibles fuentes de alimentación más potentes conduciendo a correspondientes continuos más potentes al tiempo que permanece por debajo del umbral de daño de la fibra – en definitiva, los sistemas ps son a menudo particularmente atractivos para aplicaciones en el mundo real fuera de los laboratorios de investigación óptica.

La limitación de la potencia media/densidad espectral de la fuente supercontinua y la anchura del supercontinuo es el umbral de daño de la fibra no lineal. La cara de entrada o los primeros pocos milímetros de fibra pueden destruirse si la potencia pico o pulso de energía está por encima del umbral de daño del vidrio o la interfase vidrio-aire y el sistema tendrá un fallo catastrófico. Se ha observado por los presentes inventores que cuando la potencia pico o pulso de energía está por debajo de este umbral, la fibra no lineal microestructurada puede aún observarse que se degrada con el tiempo. Esta degradación se observa normalmente como una reducción de potencia en el visible sobre el tiempo. Para aplicaciones comerciales es crítica una vida útil larga de una fuente de luz supercontinua y tal degradación de la fibra, normalmente, es inaceptable.

Yufeng Li et al. "Interaction of supercontinuum and Raman solitons with microstructure fiber gratings", Optics Express, 7 de febrero de 2005 Vol. 13, nº 3 divulga una investigación de la interacción de luz supercontinua visible con rejillas de Bragg de fibra que están escritas con UV en una fibra con microestructura birrefringente aire-sílice. La fotosensibilidad de la fibra es mejorada más por carga de Dg previa a escribir la rejilla.

L. B. Fu et al. "Femtosecond laser writing Bragg gratings in pure sílice photonic crystal fibres". Electronics Letters, 26 de mayo de 2005, Vol. 41, nº 11 describe que se han usado PCFs como una plataforma para demostrar fenómenos de propagación óptica y para crear dispositivos sintonizable que incorporan FBGs, para acoplar diferentes modos resonantemente para probar experimentalmente las propiedades modales de una fibra o para mejorar la generación continua. El artículo describe la carga de la fibra con hidrógeno para aumentar la fotosensibilidad para escribir una FGB donde después el hidrógeno se difunda fuera de la fibra.

### Resumen de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar un sistema supercontinuo óptico que comprende una fibra óptica microestructurada no lineal en la que tal degradación o bien se elimina o se reduce hasta un nivel tolerable.

Los objetos de la invención se consiguen por la invención descrita en las reivindicaciones que acompañan y según se describe en lo que sigue.

Un objeto de la invención se consigue, según se define en la reivindicación 1, mediante un sistema supercontinuo óptico que comprende una fibra óptica y una unidad de alimentación en la que dicha unidad de alimentación es una fuente de luz de bombeo de pulsos y que está adaptada para alimentar dicha fibra con pulsos con una densidad de potencia pico dentro de dicha fibra igual o mayor que  $100 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , en el que dicha fibra óptica comprende un núcleo y un revestimiento que comprenden un material de núcleo y un material de revestimiento, respectivamente, en el que dicha fibra es una fibra óptica microestructurada no lineal, en el que siendo al menos una parte del núcleo de sílice, dicha fibra óptica microestructurada comprende hidrógeno y/o deuterio fijado a dicho material de núcleo. Tal fibra óptica del sistema supercontinuo óptico puede tener propiedades adecuadas particulares con respecto a una vida larga en aplicaciones en las que dicha fibra es dispuesta para guiar pulsos con potencia pico elevada.

Cargar con deuterio se aplica a veces en la técnica con el fin de superar absorciones causadas por la denominada banda de agua, la cual aumenta cuando la fibra es sometida a ambientes ricos en hidrógeno, tal como se encuentra para cables de comunicación submarinos. Esta cuestión no es similar al problema presente. En una realización, la fibra es, por lo tanto, aplicada en un ambiente en el que está sometida a un medio con un contenido de  $\text{H}_2$  y/o iones  $\text{H}^+$  de menos de 5 at%, tal como menos de 1 at%, tal como menos de 0,1 at%, tal como menos de 0,01 at%, tal como menos de 0,001 at%.

En una realización, la fibra no lineal es una fibra la cual guía luz para al menos un intervalo de longitudes de onda  $\lambda_{\min}$  a  $\lambda_{\max}$  y tiene un parámetro no lineal  $\gamma$  en el que, para al menos parte de dicho intervalo, el producto  $\gamma \cdot \lambda$  es más de o igual a  $4 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $5 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $6 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $7 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $8 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $10 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $20 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $40 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ . El parámetro no lineal  $\gamma$  se define como

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{\text{eff}}}$$

donde aquí  $n_2$  es el índice de refracción no lineal del material de la fibra y  $A_{\text{eff}}$  es el área de modo efectiva de la fibra. Normalmente,  $n_2$  es aproximadamente  $2,6 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$  para el vidrio de sílice.

En una realización, la fibra no lineal es una fibra que tiene un parámetro no lineal  $\gamma$  cuando está guiando una longitud de onda de 1.550 nm, en el que  $\gamma$  es más de o igual a  $3 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $5 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $10 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $15 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $20 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $30 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $40 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $50 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ .

En una realización, la fibra no lineal es una fibra que tiene un parámetro no lineal  $\gamma$  cuando está guiando una longitud de onda de 1.064, en el que  $\lambda$  es más de o igual a  $5 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como más de o igual a  $10 \cdot 10^{-3} (\text{Wm})^{-1}$ , tal como

más de o igual a  $15 \cdot 10^{-3} \text{ (Wm)}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $20 \cdot 10^{-3} \text{ (Wm)}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $30 \cdot 10^{-3} \text{ (Wm)}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $40 \cdot 10^{-3} \text{ (Wm)}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $50 \cdot 10^{-3} \text{ (Wm)}^{-1}$ .

5 En una realización, la fibra no lineal es una fibra en la que dicha fibra guía luz para al menos un intervalo de longitudes de onda  $\lambda_{\min}$  a  $\lambda_{\max}$  y un diámetro de modo de campo MFD del modo fundamental de tal forma que, al menos sobre parte de dicho intervalo, la fracción  $\text{MFD}/\lambda$  es menos de o igual a 5, tal como menos de o igual a 4, tal como menos de o igual a 3, tal como menos de o igual a 2, tal como menos de o igual a 1.

10 En una realización, la fibra no lineal es un fibra que tiene un diámetro de modo de campo MFD cuando está guiando una longitud de onda de 1.550 nm en el que dicho MFD es menos de o igual a  $10 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $8 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $6 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $5 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $4 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $3 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $2 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $1 \mu\text{m}$ .

En una realización, la fibra no lineal es un fibra que tiene un diámetro de modo de campo MFD cuando está guiando una longitud de onda de 1.064 nm en el que dicho MFD es menos de o igual a  $6 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $5 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $4 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $3 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $2 \mu\text{m}$ , tal como menos de o igual a  $1 \mu\text{m}$ .

15 En las realizaciones anteriores, el intervalo de longitudes de onda  $\lambda_{\min}$  a  $\lambda_{\max}$  puede seleccionarse del grupo de 350 nm a 2.000 nm, 980 nm a 1.550 nm, 1.100 a 1.550 nm, 1.300 nm a 1.450 nm. En una realización, el intervalo de longitudes de onda  $\lambda_{\min}$  a  $\lambda_{\max}$  se selecciona para limitar la consideración al intervalo de longitudes de onda en el que la fibra es de monomodo.

20 La fibra es una fibra de sílice en la que al menos una parte del núcleo sea de sílice, preferiblemente, al menos el núcleo entero sea de sílice, tal como el núcleo entero y parte o todo del revestimiento. Como las fibras microestructuradas a menudo guían mediante agujeros que se extienden en el revestimiento dicha fibra a menudo consiste enteramente de sílice no dopado (es decir, ambos, el núcleo y el revestimiento están hechos de sílice) en oposición a, por ejemplo, las fibras de comunicación de monomodo estándar donde el núcleo, normalmente, está dopado con germanio con el fin de cambiar el índice de refracción. En consecuencia, en una realización, el núcleo de la fibra comprende un contenido en germanio de menos de o igual a 10 at%, tal como menos de 5 at%, tal como menos de 3 at%, tal como menos de 2 at%, tal como menos de 0,1 at%, tal como menos de 0,01 at%, tal como menos de 0,001 at%.

30 El sistema óptico comprende la fibra óptica y la unidad de alimentación en el que dicha unidad de alimentación está adaptada para alimentar dicha fibra con pulsos con una densidad de potencia pico dentro de dicha fibra igual a o mayor que  $100 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $1.000 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $2.500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $5.000 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $7.500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $10.000 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ . A los pulsos que proporcionan tal densidad de potencia en la fibra se hace referencia en la presente solicitud como aplicaciones de pulso elevado.

35 La unidad de alimentación es, normalmente, una fuente de luz de bombeo y puede comprender, también, uno o más amplificadores. En principio, la unidad de alimentación puede ser cualquier sistema óptico que alimenta pulsos a la fibra que tengan la densidad de potencia especificada dentro de la fibra.

Como la fibra del sistema supercontinuo óptico no tiene degradación o la tiene reducida debido a la exposición a potencia pico elevada, tal sistema tendrá probablemente una vida útil de operación extendida.

40 En una realización, el sistema supercontinuo óptico es una fuente de luz supercontinua que comprende la fuente de luz de bombeo de pulsos y la fibra óptica, en el que dicha fuente de bombeo está adaptada para proporcionar pulsos con una densidad de potencia pico dentro de dicha fibra igual a o mayor que  $100 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $1 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $2,5 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $5 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $7,5 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $10 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $15 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $20 \text{ kW}/\mu\text{m}^2$ , y en el que dichas bomba y fibra están adaptadas para proporcionar una salida que se extiende sobre al menos una octava con al menos  $10 \mu\text{W}/\text{nm}$  y/o en el que dicha bomba y dicha fibra están adaptadas para proporcionar una ganancia de inestabilidad modulacional máxima  $\Omega_{\max}$  tal como mayor que 20 THz, tal como mayor que 40 THz.

Aquí, la ganancia de inestabilidad modulacional máxima  $\Omega_{\max}$  está dada por

$$\Omega_{\max} = \pm \sqrt{\frac{2\mathcal{P}_{\text{peak}}}{|\beta_2|}},$$

50 donde  $\beta_2$  es la velocidad de grupo a la longitud de onda de la bomba,  $\mathcal{P}_{\text{peak}}$  es la potencia pico de la bomba y  $\gamma$  es la longitud de onda de la bomba.

En un ejemplo, se ha alcanzado una amplitud de más de una octava con la fibra no lineal SC-5.0-1040 de la

compañía danesa Crystal Fibre A/S. Usando esta fibra con una potencia pico de 200 W bombeada a 1.064 nm proporcionó  $\Omega_{\max} = 22$  THz (Una potencia pico de 200 W se obtiene, por ejemplo, mediante una señal de entrada de 50 MHz, 100 mW con pulsos de 10 ps).

5 La expresión que se extiende sobre al menos una octava con al menos un valor de potencia específico (por longitud de onda en nm), en este contexto de la presente invención, se toma para significar que el espectro óptico de la salida de la fuente de luz abarca al menos una octava definiendo los límites exteriores de dicho espectro por dicho valor de potencia específico. El espectro puede tener agujeros; no obstante, se asume que más del 25% del espectro abarcado tiene al menos el valor de potencia específico. En una realización, al menos el 30% del espectro abarcado tiene al menos el valor de potencia específico, tal como al menos el 40%, tal como al menos el 60%, tal como al menos el 80%, tal como al menos el 99%, tal como al menos el 99,9%.

10 En una realización, la salida se extiende sobre al menos una octava con al menos 50  $\mu\text{W}/\text{nm}$ , tal como más de o igual a 500  $\mu\text{W}/\text{nm}$ , tal como más de o igual a 1 mW/nm, tal como más de o igual a 5 mW/nm, tal como más de o igual a 10 mW/nm. Dependiendo del límite de potencia escogido, una realización puede, también, extenderse sobre más de o igual a 0,5 octavas, tal como más de o igual a 1,5 octavas, tal como más de o igual a 2 octavas.

15 En un aspecto, la invención se relaciona con un método de producir un sistema supercontinuo óptico que comprende una fibra óptica microestructurada y una fuente de luz de bombeo de pulsos, comprendiendo el método disponiendo dicha fuente de luz de bombeo de pulsos para alimentar dicha fibra con pulsos, en el que dicha fibra que tiene vida útil extendida en aplicaciones de pulsos intensos, comprendiendo el método

20 a. cargar dicho material de núcleo y, opcionalmente, dicho material de revestimiento con hidrógeno y/o deuterio.

b. opcionalmente relajar dicha durante un tiempo  $t_{\text{anneal}}$  a una temperatura  $T_{\text{anneal}}$ .

Tal método puede aplicarse, ventajosamente, para producir una fibra del sistema supercontinuo óptico de acuerdo con la invención y cualesquiera características descritas en relación con características de la fibra pueden aplicar, mutatis mutandis, al método de producir la fibra.

25 La carga dicha se ejecuta sometiendo el material de fibra a hidrógeno y/o deuterio bajo condiciones de carga adecuadamente para permitir que hidrógeno y/o deuterio se fija a dicho(s) material(es), dichas condiciones de carga incluyen, preferiblemente, al menos una de a) una temperatura T elevada, b) una presión P elevada y/o c) irradiación subsiguiente.

30 En una realización, la invención se relaciona con un aparato que comprende el sistema óptico de acuerdo con la invención. En una realización, el aparato constituye un sistema para diferentes formas de microscopía de fluorescencia, espectroscopía láser de alta precisión y tomografía óptica coherente (OCT).

Debe enfatizarse que el término “comprende/que comprende” cuando se usa en esta memoria se toma para especificar la presencia de las características, cifras, pasos o componentes enunciados pero no excluye la presencia o adición de uno o más de otros características, cifras, pasos componentes o grupos de los mismos.

### 35 Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará más completamente abajo en conexión con una realización preferida y con referencia a los dibujos en los cuales:

40 La figura 1 muestra un espectro supercontinuo típico en operación inicial de una fibra óptica microestructurada de la técnica anterior (A) y después de 35 horas de operación (B) y todo lo demás igual. La reducción en el espectro visible atestigua la degradación de la fibra.

La figura 2 muestra la atenuación medida para una fibra no lineal de la técnica anterior operada durante 35 horas como una función de la posición de la fibra.

La figura 3 muestra la absorción a 633 nm como una función de la posición en la fibra no lineal.

45 La figura 4 muestra el espectro supercontinuo en el comienzo del experimento (A), después de 35 horas donde la bajada en el visible se observa (B) y de nuevo después de calentar la fibra hasta 250 °C (C).

La figura 5 muestra el espectro supercontinuo después de 35 horas donde se observa una bajada en el visible y de nuevo después de calentar la fibra hasta 250 °C y después de que la fibra ha sido cargada con deuterio.

La figura 6 muestra la potencia visible medida como una función del tiempo para fibras no lineales cargadas con deuterio a 160 C (A), a 80 C (B) y no cargada con deuterio (C).

50 La figura 7 muestra la vida útil extraída como una función de tres temperaturas de carga de deuterio diferentes (A) y un ajuste exponencial a las medidas (B).

La figura 8 muestra espectros medidos para una fibra no lineal cargada con deuterio después de 0 horas (A), 188 horas (B), 260 horas (C), 305 horas (D) y 450 horas (E).

La figura 9 muestra la potencia visible medida como una función del tiempo para fibras no lineales con menos impurezas del vidrio.

- 5 Las figuras son esquemáticas y simplificadas para claridad y sólo muestran detalles que son esenciales para el entendimiento de la invención, mientras que otros detalles son dejados fuera.

Un mayor alcance de la aplicabilidad de la presente invención resultará patente a partir de la descripción detallada dada en adelante en este documento. No obstante, debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos, aunque indican realizaciones preferidas de la invención, se dan sólo a modo de ilustración puesto que diferentes cambios y modificaciones dentro del espíritu y alcance de la invención resultarán patentes a los expertos en la técnica a partir de la descripción detallada.

10

### Detalles de la invención

En lo que sigue, se discutirá la invención sobre la base de datos medidos. Las conclusiones extraídas de éstos no deben considerarse limitadas a las especificaciones del experimento subyacente sino, antes bien, ilustraciones de resultados obtenibles por la invención.

15

En lo que sigue, los datos medidos se obtuvieron para una fuente de luz supercontinua que comprende una fuente bomba y una fibra de sílice microestructurada no lineal. La fibra fue bombeada a 1.064 nm con pulsos de 8 ps en una tasa de repetición de 80 MHz proporcionando una potencia media de salida de 15 W (23 kW de potencia pico). La fibra tenía un diámetro de modo de campo de 3,5  $\mu\text{m}$  y era de aproximadamente 7 metros de longitud.

20 La longitud de la fibra se mantiene, preferiblemente, corta para mantener el consumo de la fibra en un mínimo mientras que aún proporciona suficiente longitud para permitir que los procesos no lineales que subyacen a un supercontinuo proporcionen un espectro deseable. Esta longitud depende, normalmente, de la forma de los pulsos pues fibra más corta es suficiente, normalmente, para pulsos más cortos. En una realización, la fibra no lineal tiene una longitud de 1 cm o más larga, tal como 10 cm o más larga, tal como 1 m o más larga, tal como 5 m o más larga, tal como 8 m o más larga, tal como 10 m o más larga.

25

En una realización, la fibra microestructurada no lineal es 50 m o menos, tal como 30 m o menos, tal como 10 m o menos.

La figura 1 muestra un espectro supercontinuo típico en operación inicial de una fibra óptica microestructurada de la técnica anterior (A) y después de 35 horas de operación (B) y todo lo demás igual. La reducción en la porción visible del espectro que se extiende desde aproximadamente 450 nm hasta aproximadamente 750 nm atestigua la degradación de la fibra. El fenómeno es investigado más a fondo mediante las medidas mostradas en la figura 2, que muestran la atenuación para la fibra no lineal de la técnica anterior operada durante 35 horas como una función de la posición de la fibra. A se mide a través de los primeros 3 m de la fibra no lineal (fibra-NL), B es a través de 3-4 m, C a través de 4-5 m y D a través de 5-7 m. Las curvas se obtienen restando una fibra no lineal de referencia de 7 m de largo. Se observó una absorción muy grande en la parte visible del espectro debida a la degradación de la fibra. La bajada en 0,9  $\mu\text{m}$  y 1,4  $\mu\text{m}$  viene, probablemente, del límite máximo de monomodo para la fibra no lineal y las diferencias en absorción pico O-H para la fibra no lineal y la fibra de referencia, respectivamente. Con el fin de soportar la hipótesis de que la degradación es causada por la interacción con el pulso de bomba potenciado relativamente alto, la absorción se espera que sea mayor más cerca de la bomba. Esta tendencia es clara pues la absorción cae cuando las secciones de fibra son tomadas de partes las cuales fueron operadas más lejos y más lejos de la bomba. Esta tendencia también se encuentra en la figura 3, que muestra que medidas de la absorción a 633 nm como función de las distancia desde el se ajustará a una exponencial.

30

35

40

La figura 4 muestra el espectro supercontinuo en el comienzo del experimento (A), después de 35 horas donde se observa la bajada en el visible (B) y de nuevo después de calentar la fibra hasta 250 °C (C). El calentamiento parece regenerar parcialmente la fibra. Los inventores plantearon la hipótesis de que la regeneración de la fibra puede ser un indicador de que los pulsos de la bomba alteran la estructura de al menos una parte del vidrio. Permitir que el vidrio alcance una temperatura más alta puede permitir que el vidrio se reasiente causando que se regenere al menos parcialmente.

45

La figura 5 muestra el espectro supercontinuo después de 35 horas donde se observa una bajada en el visible y de nuevo después de calentar la fibra hasta 250 °C y después de que la fibra ha sido cargada con deuterio y subsiguientemente recocida. La carga de deuterio regeneró claramente la fibra y el espectro se asemeja al espectro inicial (véase la figura 4) sin ningún bajada en el visible en el espectro.

50

En las presentes realizaciones, la fibra se carga, preferiblemente, con deuterio pues el hidrógeno puede combinarse con oxígeno de la fibra formando enlaces O-H los cuales son bien conocidos por tener un pico de absorción grande alrededor de 1.400 nm. Tal absorción es indeseable para estas realizaciones pero el hidrógeno puede ser preferible para aplicaciones donde tal absorción sea o bien insignificante o incluso preferible, particularmente, cuando es

55

notorio que el hidrógeno es, normalmente, significativamente más barato que el deuterio.

En la figura 6, se muestran los resultados para diferentes condiciones de carga del deuterio. La potencia visible se mide como una función del tiempo para 3 piezas de fibras no lineales idénticas cargadas en condiciones diferentes. Las vidas útiles de las fibras cargadas con deuterio se extienden significativamente en comparación con las fibras no cargadas. Todas las fibras son cargas a 100 bares de presión con aproximadamente 100% de deuterio. La carga de las fibras puede, preferiblemente, ejecutarse exponiendo la fibra a una presión parcial elevada de deuterio o hidrógeno a una temperatura específica durante un periodo de tiempo dado.

La figura 6 muestra potencia visible medida como una función del tiempo para 3 piezas de fibras no lineales idénticas cargadas con deuterio a 160 C (A), a 80 C (B) y no cargada con deuterio (C). Las vidas útiles de las fibras cargadas con deuterio se aumentan en al menos 2 órdenes de magnitud en comparación con las fibras no cargadas. Todas las fibras son cargadas a 100 bares de presión con 100% de deuterio.

La figura 7 muestra las vidas útiles mostradas en la figura 6 como una función de tres temperaturas de carga de deuterio diferentes (A) y un ajuste exponencial a las medidas (B). En este ejemplo, la vida útil se definió como la absorción de luz en el visible ha decrecido un 30%. Dependiendo de la aplicación, la vida útil puede definirse como la absorción de luz en el visible ha decrecido en más del 40%, tal como más del 50%, tal como más del 70%, tal como más del 80%, tal como más del 90%. La luz visible puede definirse, en el contexto, como la integral de luz en el intervalo 0,5 a 0,7  $\mu\text{m}$ . Como alternativa, pueden especificarse uno o más valores de longitud de onda tal como la absorción a 650 nm y/o a 633 nm. Las medidas cargadas con deuterio como función de temperatura indican claramente que la vida útil aumenta casi exponencialmente con la temperatura de carga. Sobre la base de esta dependencia de la temperatura, se especula que el aumento de la vida útil de la fibra es debido al deuterio fijado con el material (en este caso vidrio de sílice) y la temperatura actúa como proveedor de la energía de activación necesaria para que esto ocurra. Como alternativa, tal proceso químico puede ser inducido proporcionando presión suficientemente alta. Finalmente, también se especula que la activación por irradiación simultáneamente o posterior a difundir el deuterio en el material posibilita la fijación del deuterio. En consecuencia, la fibra está siendo cargada someténdola a hidrógeno y/o deuterio bajo condiciones de carga adecuadamente para permitir que el hidrógeno y/o el deuterio se fija químicamente a dicho(s) material(es), dichas condiciones de carga incluyen, preferiblemente, al menos una de a) una temperatura T elevada, b) una presión P elevada y/o c) irradiación subsiguiente. Mediante esto, la fibra que comprende una cantidad aumentada de hidrógeno y/o deuterio de forma que en una realización el material cargado comprende más de 0,1 átomos por ciento (at%) de hidrógeno y/o deuterio fijado, tal como más de 1 at%, tal como más de 5 at%, tal como más de 10 at%, tal como más de 20 átomos por ciento, tal como más de 50 at%.

En una realización, la temperatura T es elevada para permitir la fijación según se discutió arriba de forma que T es más de o igual a 80 °C, tal como más de o igual a 100 °C, tal como más de o igual a 120 °C, tal como más de o igual a 140 °C, tal como más de o igual a 160 °C, tal como más de o igual a 180 °C, tal como más de o igual a 200 °C, tal como más de o igual a 220 °C, tal como más de o igual a 240 °C, tal como más de o igual a 260 °C, tal como más de o igual a 280 °C, tal como más de o igual a 300 °C, tal como más de o igual a 350 °C, tal como más de o igual a 400 °C, tal como más de o igual a 450 °C, tal como más de o igual a 500 °C.

La fibra no lineal puede o no comprender un recubrimiento de polímero sobre su revestimiento. En una situación donde la fibra no lineal comprende un recubrimiento de polímero, la temperatura de carga para cargar deuterio y/o hidrógeno debería mantenerse, preferiblemente, por debajo de la temperatura de fusión o incluso de ablandamiento del polímero. El límite superior para aumentar la temperatura de carga de deuterio es debido probablemente al recubrimiento de la fibra. Un recubrimiento de alta temperatura puede extender la temperatura de carga del deuterio hasta por encima de 250 °C y, con ello, posibilita una mejora significativa de la vida útil. Como alternativa, pueden producirse fibras sin recubrimiento que posibiliten una temperatura de carga muy alta, por ejemplo, hasta por encima de 500 °C y/o carga del material del núcleo (y opcionalmente del revestimiento) puede ejecutarse antes de o durante el proceso de formar la fibra, es decir, antes del recubrimiento. En principio, estos argumentos pueden ser aplicables a otros tipos de recubrimientos también.

El tiempo de la reacción química se espera que dependa de la temperatura y/o presión pero el tiempo de carga debería ser, preferiblemente, al menos suficiente como para asegurar que el equilibrio térmico ha ocurrido.

De manera similar a la temperatura, en una realización, la presión P es más de o igual a 10 bares, tal como más de o igual a 25 bares, tal como más de o igual a 50 bares, tal como más de o igual a 75 bares, tal como más de o igual a 90 bares, tal como más de o igual a 120 bares, tal como más de o igual a 160 bares, tal como más de o igual a 200 bares, tal como más de o igual a 500 bares, tal como más de o igual a 1.000 bares, tal como más de o igual a 2.000 bares.

La radiación mencionada arriba puede, en principio, ser cualquier radiación adecuada para proporcionar energía de activación significativa. En una realización preferida, pulsos adecuados de otro modo para generación supercontinua (por ejemplo, pulsos tales como los discutidos en "Resumen de la invención") se aplican para fijar hidrógeno o deuterio a la fibra. En una realización, la fibra es enfriada subsiguientemente a la carga y, opcionalmente, recocida con el fin de reducir la difusión del resto de hidrógeno/deuterio no fijado fuera de la fibra antes del uso. La fibra, preferiblemente, se mantiene fría para su almacenamiento antes del uso o durante al menos parte del periodo de

almacenamiento. Una vez en uso, se especula si el bombeo de la fibra en generación de luz supercontinua proporciona suficiente energía como para fijar al menos parte del hidrógeno/deuterio restante.

5 Se especula que, en principio, los materiales pueden ser cargados en cualquier momento en el proceso de formar la fibra. No obstante, debe tenerse en consideración el asegurar que los procesos que siguen a la carga no afectan a la extensión alcanzada de la vida útil de la fibra final. En consecuencia, en una realización, la carga de dicho material del núcleo y, opcionalmente de dicho material de revestimiento, está siendo ejecutada antes de formar dicha fibra, durante la formación de dicha fibra o después de la formación. Además, según se muestra en la figura 5, las fibras pueden, al menos parcialmente, ser regeneradas de forma que en una realización la fibra es cargada después del uso.

10 Como la banda de agua discutida arriba puede ser perjudicial para algunas aplicaciones, puede ser preferible cargar la fibra con tan poco hidrógeno como sea posible de forma que, en una realización, la fibra cargada comprende deuterio fijado con respecto al hidrógeno fijado (y/o sus correspondientes iones) en más de o igual a 1%, tal como más que o igual a 10%, tal como más de o igual a 100%, tal como mas de o igual a 10.000 % en átomos.

15 Después de la carga de deuterio o hidrógeno, la fibra, preferiblemente, es recocida para mejorar la difusión del deuterio o hidrógeno no fijado en la fibra. La fibra, preferiblemente, es recocida a una temperatura media para no proporcionar suficiente energía como para arrancar el hidrógeno/deuterio una vez más. En las figuras presentadas arriba, la relajación se ejecutó a 80 °C. La difusión hacia fuera del hidrógeno/deuterio no fijado también ocurriría durante 2 a 3 meses si la fibra fuera almacenada a temperatura ambiente. La relajación posibilita empalmar la fibra a otras fibras (calentamiento en plasma de hidrógeno/deuterio, tal como en empalme por fusión, puede ser explosivo) y reducida la fotosensibilidad añadida debido a estas moléculas. Temperatura de relajación excesiva por encima de 20 aproximadamente 1.000 °C puede conducir a difusión hacia fuera del hidrógeno/deuterio fijado y es, por lo tanto, indeseable normalmente. En consecuencia, en una realización, el método de producir una fibra conforme a esto comprende relajar el material cargado subsiguiente a la carga.

25 La figura 8 muestra espectros medidos para una fibra no lineal cargada con deuterio después de 0 horas (A), 188 horas (B), 260 horas (C), 305 horas (D) y 450 horas (E). La bajada prominente para la fibra no lineal no cargada en el espectro visible de 0,5 a 0,7  $\mu\text{m}$  ya no se observa. Además, para aumentar la vida útil de la fibra no lineal, la carga de deuterio ha mostrado también modificar significativamente los cambios espectrales de la fibra en operación en comparación con fibras no cargadas. Con respecto a una fibra no cargada, ya no se observa la degradación como una bajada en el espectro visible sino como una potencia visible global que decrece lentamente. Sólo el intervalo de 30 longitudes de onda cortas parece alterarse significativamente en el tiempo.

En una realización, la vida útil de la fibra se extiende con respecto a la vida útil de una fibra idéntica por lo demás no sometida a carga con deuterio y/o hidrógeno en más del 50%, tal como más del 100%, tal como más del 200%, tal como más del 500%, tal como más del 1.000%, tal como más del 10.000%. Como la vida útil absoluta de una fibra 35 sometida a pulsos adecuados para generar un supercontinuo puede variar dependiendo de la aplicación, asimismo se especula, sobre el material en particular del núcleo de la fibra. En una realización, la vida útil es más de 100 horas de operación, tal como más de 200 horas de operación, tal como más de 2.000 horas de operación, tal como más de 20.000 horas de operación, tal como más de 50.000 horas de operación.

40 La figura 9 muestra potencia visible medida como función del tiempo para fibras no lineales con menos impurezas en el vidrio. El nivel de impureza, y particularmente la cantidad de átomos Cl en el vidrio, parece influir en la vida útil de la fibra. Parece que, al menos hasta cierto punto, cuanto menor sea la cantidad de Cl más larga es la vida útil. Comparada con la figura 5, la vida útil está significativamente extendida indicando que el umbral de daño depende del nivel de impureza del vidrio. No obstante, la vida útil de la fibra cargada con deuterio (A) es aún aumentada significativamente en comparación con la fibra no cargada (B). El aumento de la potencia de salida para la fibra cargada con deuterio después de 750 horas es debido a un aumento de la potencia de la bomba.

45 Se especula que la extensión de la vida útil es proporcionada por el deuterio/hidrógeno fijado con respecto al número total de impurezas en el núcleo y, en alguna aplicación, también en el material de revestimiento. En consecuencia, en una realización, el núcleo de la fibra está siendo un núcleo sólido (preferiblemente sílice) en el que la fracción de hidrógeno y/o deuterio fijado con respecto al número total de impurezas es más de o iguala 10%, tal como más de o igual a 20%, tal como más de o igual a 30%, tal como más de o igual a 40%, tal como más de o igual 50 a 50%, tal como más de o igual a 60%, tal como más de o igual a 70%, tal como más de o igual a 80%, tal como 50 más de o igual a 90%, tal como más de o igual a 99%, tal como más de o igual a 99,9%.

La invención está definida por las características de la(s) reivindicación(es) independiente(s). Realizaciones preferidas están definidas en las reivindicaciones dependientes. Cualesquiera números de referencia en las reivindicaciones se pretende que sean no limitadores para su alcance.

55 Algunas realizaciones preferidas se han mostrado en lo que antecede, pero debe ser recalcado que la invención no está limitada a éstas sino que puede ser realizada de otras maneras dentro del tema objeto definido en las reivindicaciones que siguen.



REIVINDICACIONES

1. Un sistema supercontinuo óptico que comprende una fibra óptica y una unidad de alimentación en la que dicha unidad de alimentación es una fuente de luz de bombeo de pulsos y que está adaptada para alimentar dicha fibra con pulsos con una densidad de potencia pico dentro de dicha fibra igual o mayor que  $100 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , en el que dicha fibra óptica comprende un núcleo y un revestimiento que comprenden un material de núcleo y un material de revestimiento, respectivamente, en el que dicha fibra es una fibra óptica microestructurada no lineal, en el que al menos una parte del núcleo es de sílice, y en el que dicha fibra óptica microestructurada comprende hidrógeno y/o deuterio fijado con dicho material de núcleo.
2. El sistema óptico de la reivindicación 1, en el que dicho material de núcleo comprende un contenido en Cl de menos de o igual a 10 at%, tal como menos de 5 at%, tal como menos de 3 at%, tal como menos de 2 at%, tal como menos de 0,1 at%, tal como menos de 0,01 at%, tal como menos de 0,001 at%, tal como menos de 0,0001 at%.
3. El sistema óptico de la reivindicación 1 o 2, en el que dicha fibra está adaptada para guiar luz para al menos un intervalo de longitudes de onda  $\lambda_{\text{min}}$  a  $\lambda_{\text{max}}$  y tiene un parámetro no lineal  $\gamma$  en el que, para al menos parte de dicho intervalo, el producto  $\gamma \cdot \lambda$  es más de o igual a  $4 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $5 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $6 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $7 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $8 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $10 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $20 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ , tal como más de o igual a  $40 \cdot 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ .
4. El sistema óptico de la reivindicación 3, en el que el intervalo de longitudes de onda  $\lambda_{\text{min}}$  a  $\lambda_{\text{max}}$  se selecciona para limitar el intervalo a longitudes de onda en las que la fibra es de monomodo.
5. El sistema óptico de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la fibra óptica tiene una longitud desde 1 m hasta 30 m.
6. El sistema óptico de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho núcleo comprende un contenido en germanio de menos de 0,1 at%, tal como menos de 0,01 at%, tal como menos de 0,001 at%.
7. El sistema óptico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicha unidad de alimentación está adaptada para alimentar dicha fibra con pulsos con una densidad de potencia pico dentro de dicha fibra igual a o mayor que  $500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $1.000 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $2.500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $5.000 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $7.500 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ , tal como igual a o mayor que  $10.000 \text{ W}/\mu\text{m}^2$ .
8. El sistema óptico de la reivindicación 7, en el que dicha fibra está dispuesta para estar en un ambiente en el que está sometida a un medio con un contenido de  $\text{H}_2$  y/o iones  $\text{H}^+$  de menos de 5 at%, tal como menos de 1 at%, tal como menos de 0,1 at%, tal como menos de 0,01 at%, tal como menos de 0,001 at%.
9. El sistema óptico de la reivindicación 7 u 8, en el que dicha fibra tiene una vida útil hasta que la absorción de luz en el visible se ha reducido en más del 40%, dicha vida útil es más de 100 horas de operación, tal como más de 200 horas de operación, tal como más de 2.000 horas de operación, tal como más de 20.000 horas de operación, tal como más de 50.000 horas de operación.
10. El sistema óptico de la reivindicación 7 o 9, en el que dicha fibra: está adaptada para proporcionar una ganancia de inestabilidad modulacional máxima  $\Omega_{\text{max}}$  tal como mayor que 20 THz, tal como mayor que 40 THz.
11. Un método de producir un sistema supercontinuo óptico que comprende una fibra óptica microestructurada que comprende un núcleo, en la que siendo al menos una parte del núcleo de sílice, y una fuente de luz de bombeo de pulsos, comprendiendo el método disponiendo dicha fuente de luz de bombeo de pulsos para alimentar dicha fibra con pulsos, en el que dicho método comprende cargar dicho material de núcleo y, opcionalmente, dicho material de revestimiento con hidrógeno y/o deuterio sometiendo el material de fibra a hidrógeno y/o deuterio bajo condiciones de carga adecuadas para permitir que hidrógeno y/o deuterio se fija a dicho(s) material(es).
12. El método de la reivindicación 11, en el que dichas condiciones de carga incluyen al menos una de a) una temperatura T elevada, b) una presión P elevada y/o c) irradiación subsiguiente.
13. El método de la reivindicación 12, en el que T es más de o igual a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  y/o la presión P es más de o igual a 10 bares.
14. El método de la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en el que T es más de o igual a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $220 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $260 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , tal como más de o igual a  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

15. El método de la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en el que la presión P es más de o igual a 25 bares, tal como más de o igual a 50 bares, tal como más de o igual a 75 bares, tal como más de o igual a 90 bares, tal como más de o igual a 120 bares, tal como más de o igual a 160 bares, tal como más de o igual a 200 bares, tal como más de o igual a 500 bares, tal como más de o igual a 1.000 bares, tal como más de o igual a 2.000 bares.

5 16. El método de cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, en el que dicho método comprende, además, relajar dicha fibra subsiguientemente a la carga.

17. El método de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, en el que dicha carga de dicho material del núcleo y, opcionalmente de dicho material de revestimiento, siendo ejecutada antes de formar dicha fibra, durante la formación de dicha fibra o después de la formación de dicha fibra y/o después de usar dicha fibra.

10

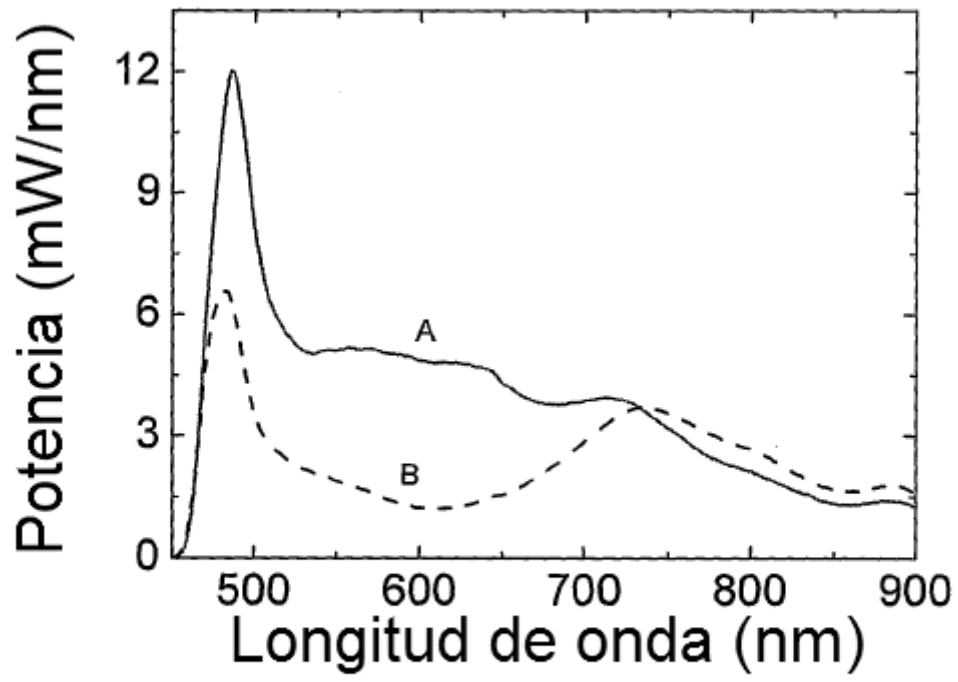


FIG. 1

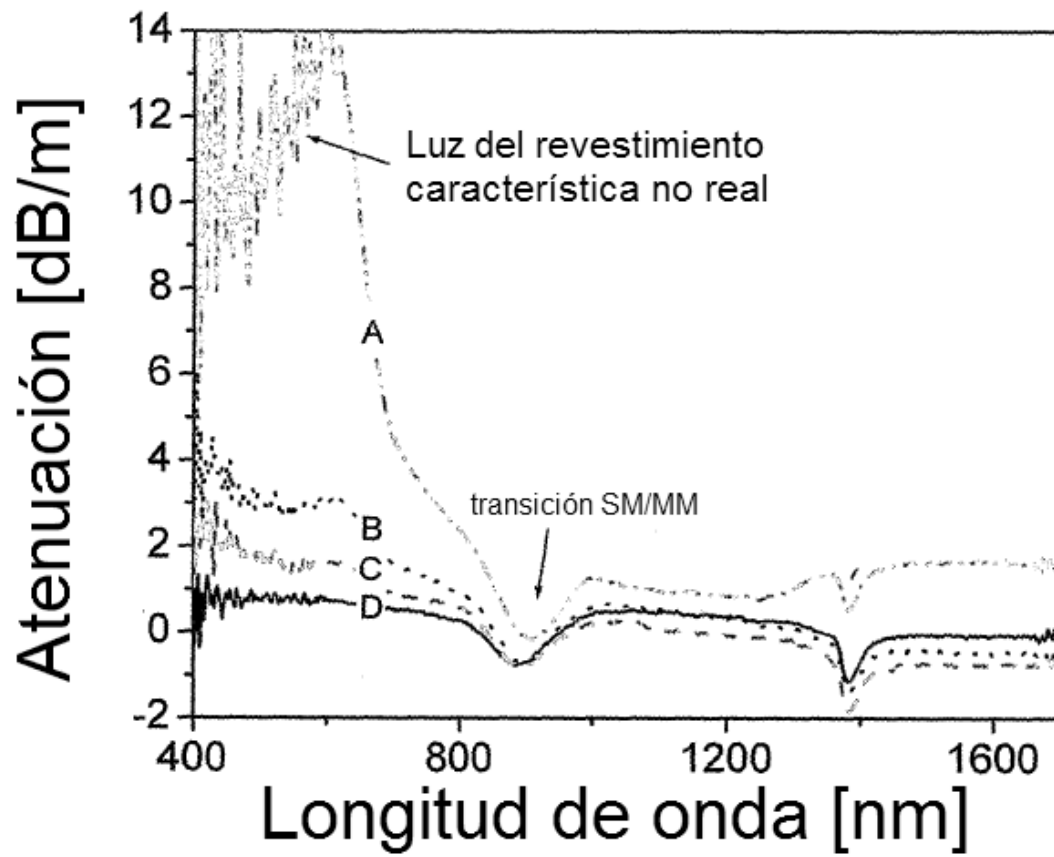


FIG. 2

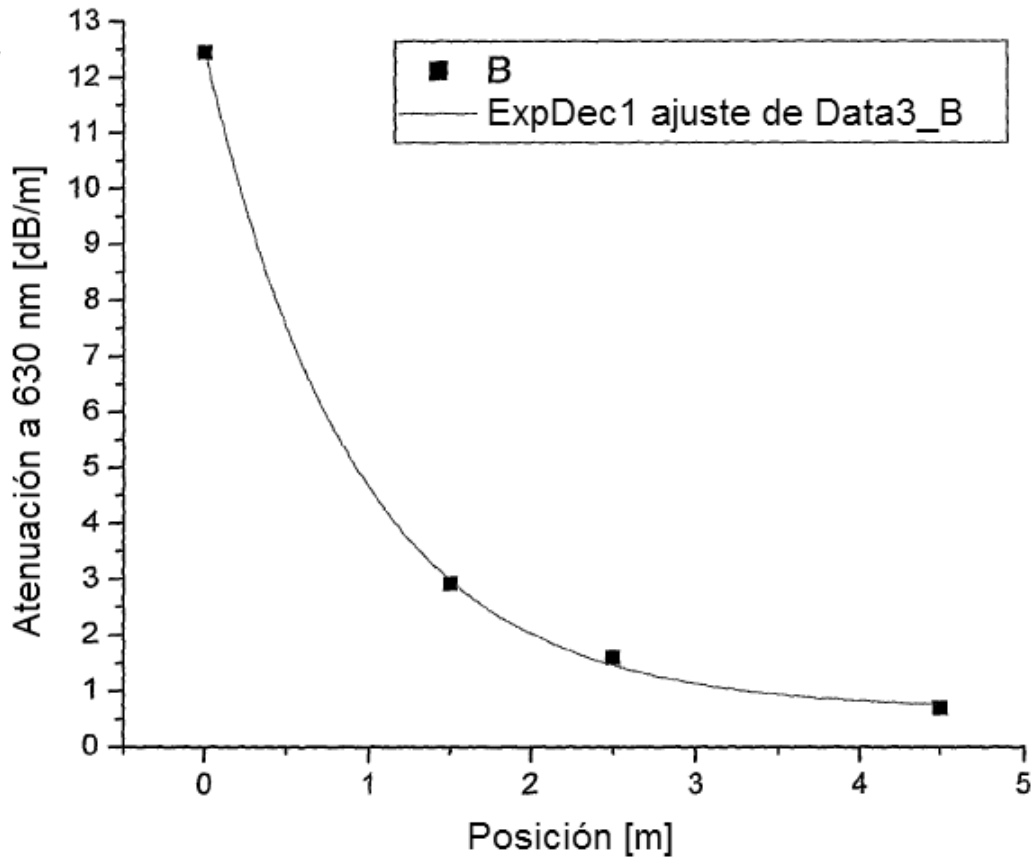


FIG.3

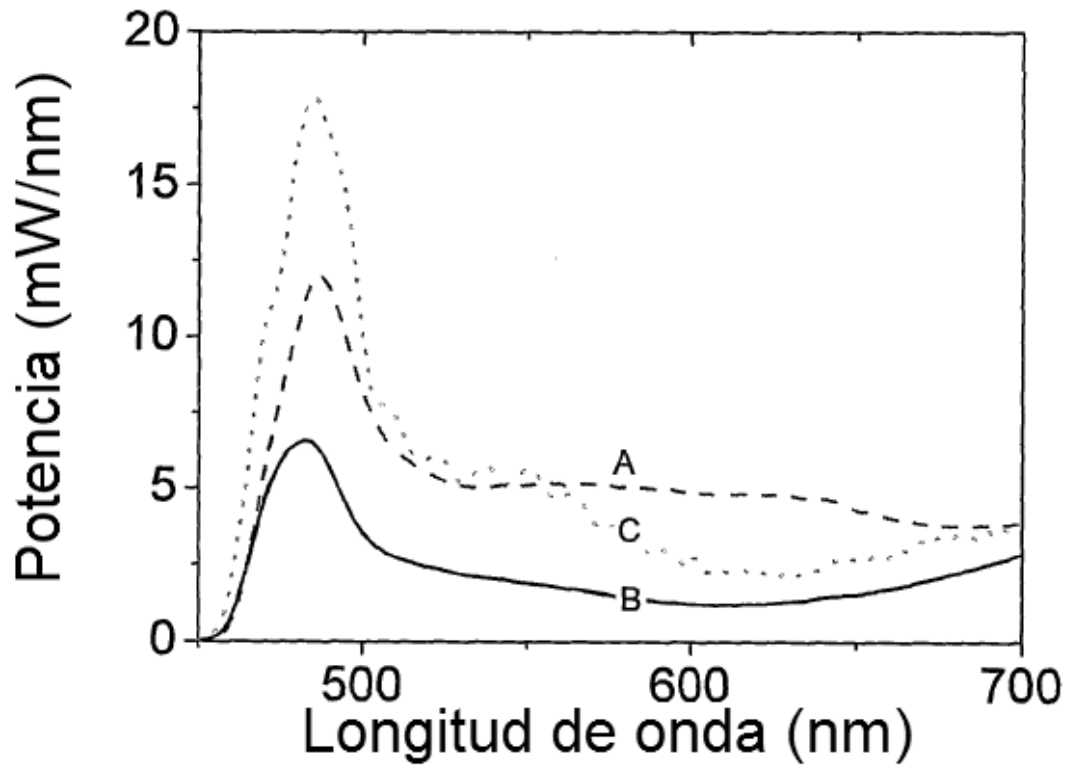


FIG. 4

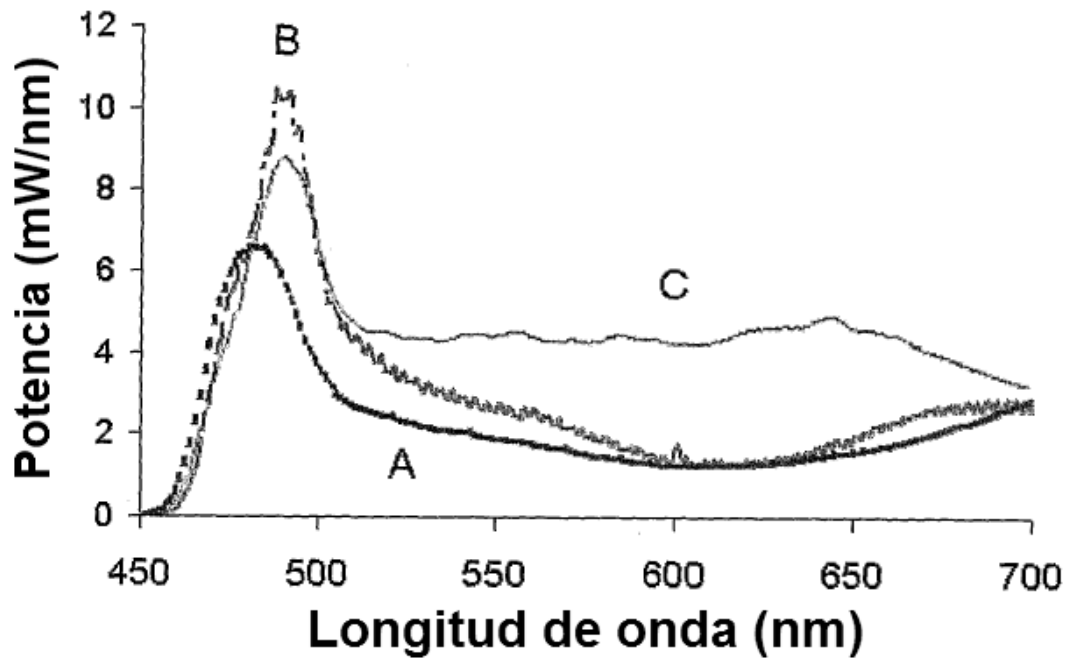


FIG. 5

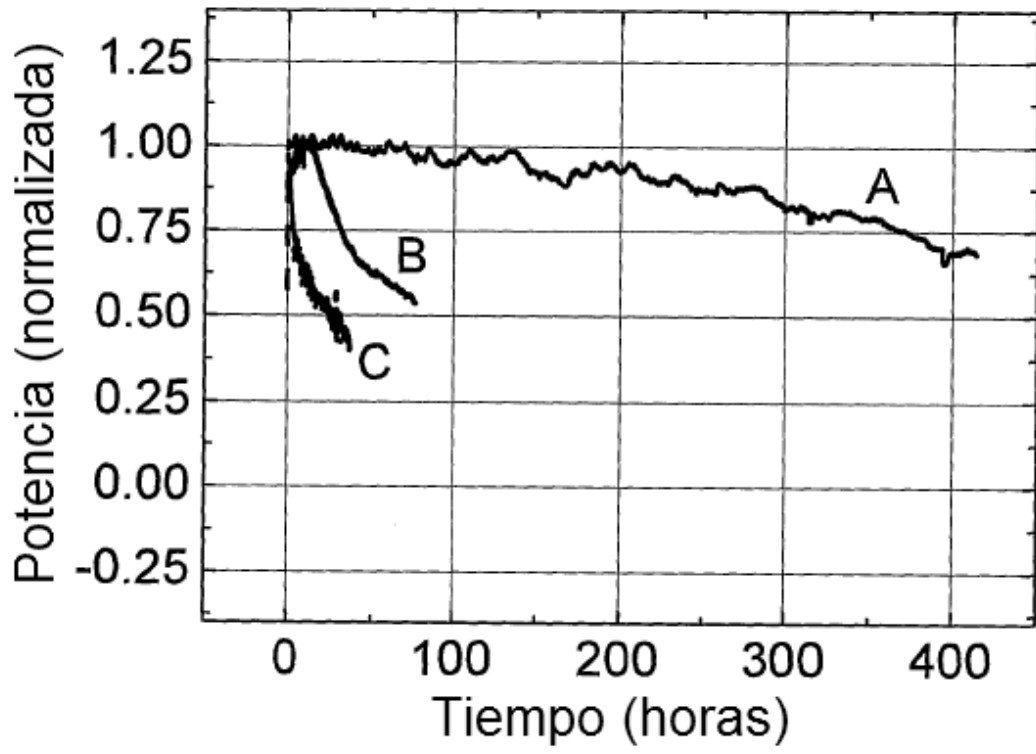


FIG. 6



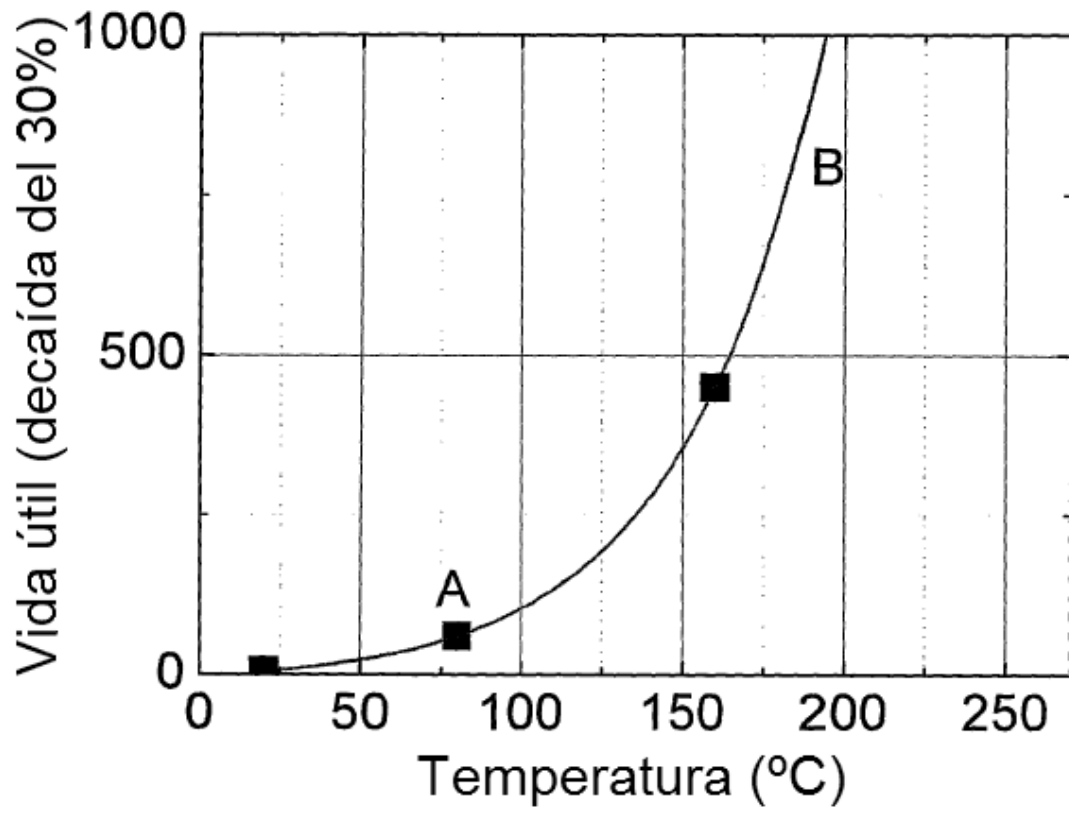


FIG. 7

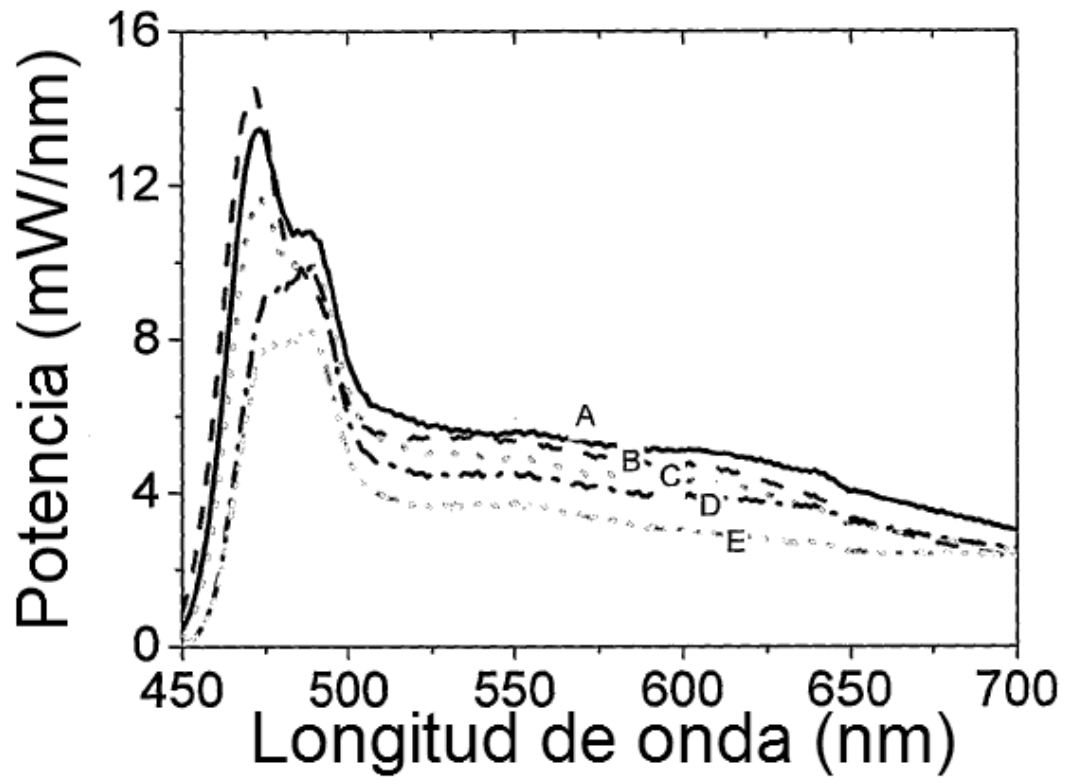


FIG. 8

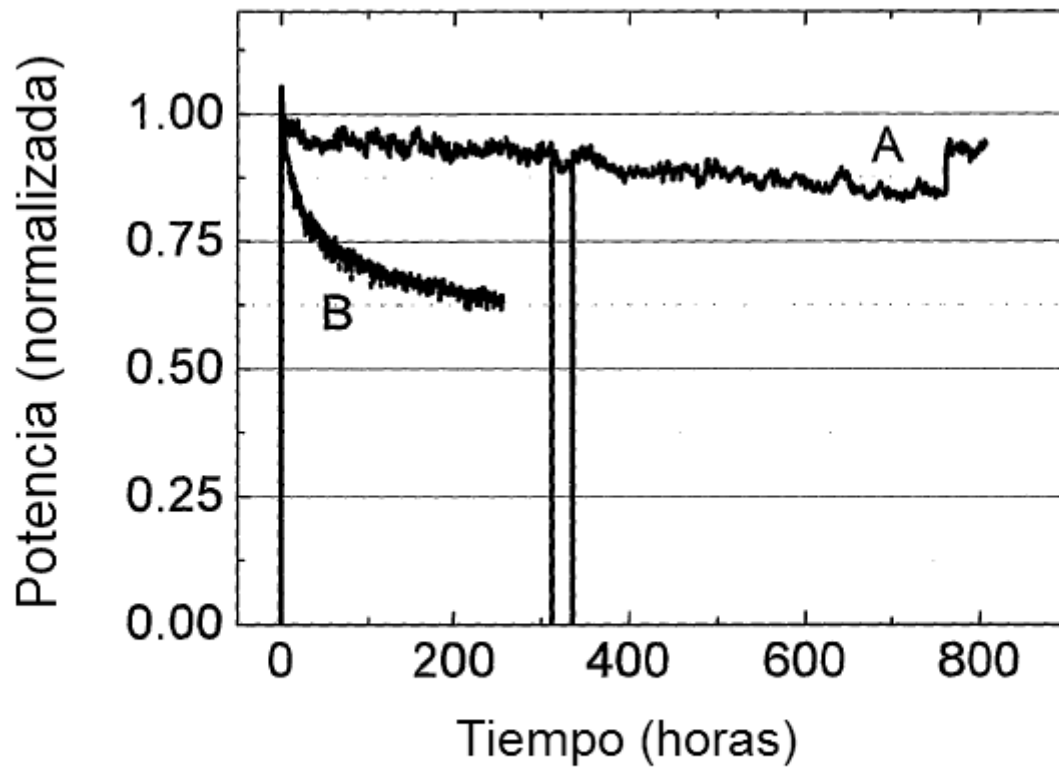


FIG. 9