

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 330**

51 Int. Cl.:

H01S 3/063 (2006.01)

H01S 3/23 (2006.01)

H01S 3/0941 (2006.01)

H01S 3/16 (2006.01)

H01S 3/17 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2010 E 10759700 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2476170**

54 Título: **Procedimiento para obtener una acción láser aleatoria**

30 Prioridad:

10.09.2009 GB 0915944

06.11.2009 GB 0919472

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

10.09.2015

73 Titular/es:

UNIVERSITY OF LEEDS (100.0%)

Clarendon Road

Leeds LS2 9JT, GB

72 Inventor/es:

JOSE, GIN;

JHA, ANIMESH y

STEENSON, DAVID PAUL

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 545 330 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para obtener una acción láser aleatoria

La presente invención se refiere a un dispositivo capaz de producir acción láser aleatoria que comprende un guía-ondas de vidrio dopado con tierras raras, a un procedimiento de fabricación del dispositivo y a un láser que comprende dicho dispositivo.

Los láseres que dependen de múltiples procesos de dispersión en un medio de dispersión aleatorio para alimentación óptica son conocidos como láseres de acción aleatoria. Estos difieren de un láser convencional en que dependen de la alimentación óptica resonante por reflectores o espejos.

La acción láser aleatoria ha sido objeto de enorme interés para investigadores en el campo de la física de estado sólido y física láser. Los experimentos iniciales se diseñaron para probar los principios de acción láser aleatoria y no para identificar una fuente láser eficiente para aplicaciones. Se generó un medio de amplificación alterando usando una fuente fina de cristal dopado con neodimio y se demostró la acción láser a temperatura del nitrógeno líquido (Markushev, V. M., Zolin, V. F. & Briskina, Ch. M. Powder laser. Zh. Prikl. Spektrosk. 45, 847-850 (1986)). Se demostró la acción láser en un medio de ganancia de colorante líquido con dispersores dispersados (Martorell, J., Balachandran, R. M. & Lawandy, N. M. Radiative coupling between photonic paint layers. Opt. Lett. 21, 239-241 (1996)). En estos experimentos se observó un estrechamiento distinto del espectro de emisión por encima de cierto umbral que se atribuyó a la emisión estimulada en un medio de dispersión aleatorio que conduce a amplificación que se puede describir usando modelo de Letokhov (Letokhov, V.S. Generation of light by a scattering medium with negative resonance absorption. Zh. Eksp. Teor. Fiz. 53, 1442-1447 (1967); Sov. Phys. JETP 26, 835-840 (1968)). Los modos discretos del láser que estarían presentes en un medio de dispersión aleatorio donde se puede localizar la luz fueron observados en primer lugar por Cao and colaboradores (Cao, H. et al. Random laser action in semiconductor powder. Phys. Rev. Lett. 82, 2278-2281 (1999)). Se logró fuerte dispersión y gran aumento en una película de potencia nanométrica de ZnO de espesor en el intervalo de 6-10 μm y se observó acción láser coherente con dependencia angular cuando se bombeó usando un láser Nd:YAG en modo bloqueado. El umbral láser fue de 763 kW/cm^2 . Se ha propuesto que el vidrio grabado o cristal semiconductor pueden producir medios de dispersión muy fuentes para la acción láser aleatoria (Schuurmans, F. J. P., Vanmaekelbergh, D., van de Lagemaat, J. & Lagendijk, A. Strongly photonic macroporous GaP network. Science 284, 141-143 (1999) y D. S. Wiersma and S. Cavaleri, "Light emission: A temperature-tunable random laser" Nature 414(6865), 708-709 (2001)).

Los medios que se han usado para demostrar la acción láser aleatoria han presentado han sido en general tridimensionales y requiere un umbral de bombeo muy alto para iniciar la acción láser. Los medios fueron en su mayor parte complejos, no portátiles, inestables y la distribución de dispersores no era reproducible. Los modos eran difíciles de conservar.

Ha habido interés en estudios teóricos de estructuras de 2D para láseres aleatorios (Apalkov, V. M., Raikh, M. E. & Shapiro, B. Random resonators and prelocalized modes in disordered dielectric films. Phys. Rev. Lett. 89, 016802 (2002)). El uso de un láser aleatorio que emplea una película de polvo de vidrio dopado con ión Tm^{3+} exige haber alcanzado un umbral de varios kilovatios por centímetro cuadrado (H. Fujiwara, and . Sasaki, "Observation of upconversion lasing within a thulium-ion-doped glass powder film containing titanium dioxide particles" Jpn. J. Appl. Phys. 43(No. 10B), L1337-L1339 (2004)). El uso de láseres aleatorios para aplicaciones prácticas como una fuente coherente se ha limitado debido su alto umbral, baja fiabilidad y dificultades de fabricación.

Los documentos US-A-3573653, US-A-3579142, US-A-3787234, US-A-6574249 y US-A-3747021 divulgan láseres de película delgada que son bombeados eléctricamente u ópticamente. El documento US-A-5306385 divulga películas delgadas de CaF_2 dopadas cristalinas fotoluminiscentes sobre un sustrato de silicio. El documento US-A-5783319 divulga un láser de tinte sintonizable que comprende una película delgada de vidrio de sílice dopado orgánicamente sobre un sustrato de silicio. El documento US-A-6656588 divulga un procedimiento para la preparación de un polvo de óxido de metal nanocristalino dopado en la forma de una película delgada que muestra acción láser.

La presente invención se basa en el reconocimiento de que mediante el confinamiento de radiación electromagnética en una estructura de vidrio dopada no de 3 dimensiones es posible alcanzar mejoras en la acción láser aleatoria que aprovecha una cierta longitud de onda del vidrio dopado con tierras raras.

Por tanto, visto desde un aspecto la presente invención proporciona un procedimiento para la acción láser aleatoria que comprende un sustrato; y un vidrio dopado con tierras raras fabricado sobre el sustrato en forma de un guía-ondas, en la que el vidrio comprende un vidrio de germanio, un vidrio de titanio o un vidrio de calcogenuro. Dicho procedimiento se define en la reivindicación 1.

El dispositivo de la presente invención es robusto y reproducible y de forma ventajosa no requiere espejos Bragg o convencionales que lo hagan directamente integrable con otros dispositivos de emisión de luz basados en semiconductores y polímeros. Muestra excelente estabilidad de modo y es sintonizable en un intervalo de longitud de onda sorprendentemente ancho.

El dispositivo puede bombearse ópticamente; el dispositivo puede bombearse eléctricamente, pero de forma típica el dispositivo se bombea ópticamente.

Cuando se bombea el dispositivo ópticamente este puede comenzar la emisión láser a una cierta potencia desde el láser de bombeo. La mínima potencia requerida desde el láser de bombeo que provoca emisión láser en el dispositivo se conoce como la potencia de bombeo umbral. Esto puede denominarse simplemente como el "umbral". El umbral se puede expresar como una potencia de bombeo umbral por unidad de área del área incidente del haz del láser de bombeo en el dispositivo (por ejemplo, vatios por mm^2). Esto puede conocerse también como una densidad de potencia umbral. Por ejemplo, con una potencia de láser de bombeo umbral de 37 mW y un haz láser de bombeo de área incidente de aproximadamente $1,45 \text{ mm}^2$, la densidad de potencia de bombeo umbral es de aproximadamente 26 mW/mm^2 .

El dispositivo puede ser capaz del bombeo láser aleatorio a un umbral de 1 mW o inferior para producir salida coherente desde un área inferior a 2 mm^2 . Esto es equivalente a una densidad de potencia umbral de $0,5 \text{ mW/mm}^2$.

La densidad de potencia umbral del dispositivo puede ser menor de 200 mW/mm^2 . Preferiblemente la densidad de potencia umbral del dispositivo es menor de 100 mW/mm^2 , en particular preferiblemente menor de 50 mW/mm^2 , más preferiblemente menor de 26 mW/mm^2 .

El umbral del dispositivo puede ser menor de 1 mW. Preferiblemente el umbral del dispositivo es menor de $500 \mu\text{W}$, en particular preferiblemente menor de $300 \mu\text{W}$, más preferiblemente menor de $200 \mu\text{W}$, aún más preferiblemente menor de $100 \mu\text{W}$, incluso más preferiblemente menor de $50 \mu\text{W}$.

La longitud de onda de la emisión láser del dispositivo puede depender del ángulo de incidencias del haz de láser de bombeo. La longitud de onda de la emisión láser del dispositivo puede ser ajustable. La longitud de onda de emisión láser del dispositivo puede ser ajustable variando el ángulo de incidencia del haz del láser de bombeo.

La longitud de onda de la emisión láser del dispositivo puede ser ajustable en el intervalo de 1510 nm a 1620 nm.

La potencia de bombeo umbral para el dispositivo puede ser dependiente del ángulo de incidencia del haz de láser de bombeo. La potencia de bombeo umbral para el dispositivo puede ser ajustable variando el ángulo de incidencia del haz de láser de bombeo.

El umbral del dispositivo puede variar en el intervalo entre $300 \mu\text{W}$ a $20 \mu\text{W}$ ya que el ángulo de incidencia del láser de bombeo varía entre 39° y 51° .

Reduciendo el umbral o densidad de potencia umbral reduce la carga térmica en el dispositivo. Una carga térmica reducida hace del dispositivo más prácticamente aplicable debido a que se reduce la necesidad para disipación de calor.

De forma típica el vidrio no es cristalino. De forma típica el vidrio carece sustancialmente de defectos *grain boundaries*.

Preferiblemente el vidrio es capaz de dispersar de múltiple dispersión. El vidrio es de forma típica dieléctrico.

Preferiblemente el vidrio es poroso, de forma particular preferiblemente nanoporoso. Un vidrio nanoporoso promueve la dispersión múltiple y facilita la fabricación de la guía-ondas.

Preferiblemente el vidrio es un vidrio de calcogenuro. De forma particular preferiblemente el vidrio de calcogenuro comprende azufre, selenio, telurio o una mezcla de los mismos.

Preferiblemente el vidrio es un vidrio de germanio o un vidrio de telurio, de forma particular preferiblemente un vidrio de telurio.

El vidrio puede comprender (o estar constituido esencialmente por) dióxido de germanio (GeO_2).

GeO_2 puede estar presente en el vidrio dopado con tierras raras en una cantidad superior a 30% en moles, preferiblemente una cantidad en el intervalo de 60-90% en moles, en particular preferiblemente de 75-85% en moles.

El vidrio puede comprender (o estar constituido esencialmente por) dióxido de telurio (TeO_2). TeO_2 es también conocido como telurita.

TeO_2 puede estar presente en el vidrio dopado con tierras raras en una cantidad superior a 30% en moles, preferiblemente una cantidad en el intervalo de 60-90% en moles, en particular preferiblemente de 75-85% en moles.

El vidrio puede comprender además uno o más modificadores de red. El vidrio puede comprender cuatro modificadores de red, preferiblemente tres modificadores de red, en particular preferiblemente dos modificadores de red. El modificador de red puede abrir la red del vidrio.

- El modificador de red puede ser un ión de modificación de red. El modificador de red puede ser un compuesto metálico. El compuesto metálico puede proporcionar un ión de modificación de red. El modificador de red puede ser un fluoruro u óxido de metal. Cada modificador de red puede estar presente en una cantidad de 30% en moles o menos, preferiblemente 20% en moles o menos, de forma particular preferiblemente 10% en moles o menos.
- 5 El modificador de red puede estar presente en una cantidad de hasta 30% en moles, preferiblemente hasta 20% en moles, en particular preferiblemente hasta 10% en moles.
- El modificador de red puede ser un óxido de al menos uno de Ba, Bi, Pb, Zn, Al, Ga, La, Nb, Wo, Ta, Zr, Ti, V y mezclas de los mismos.
- 10 Preferiblemente el modificador de red se selecciona del grupo que consiste en BaO, Bi₂O₃, PbO, ZnO, Ga₂O₃, Al₂O₃, La₂O₃, Nb₂O₅, WO₃, Ta₂O₅, ZrO₂, TiO₂, V₂O₅ y mezclas de los mismos. El modificador de impacto puede estar presente en una cantidad de 30% en moles o menos, preferiblemente 20% en moles o menos, en particular preferiblemente 10% en moles o menos.
- 15 Preferiblemente el vidrio puede comprender adicionalmente uno o más de MgO, CaO, SrO, BaO, ZnO, PbO y mezclas de los mismos. El uno o más de MgO, CaO, SrO, BaO, ZnO, PbO y mezclas de los mismos puede estar presente en una cantidad de 30% en moles o menos, preferiblemente 20% en moles o menos, en particular preferiblemente 10% en moles o menos. Estos óxidos de metal pueden ser también modificadores de red.
- 20 Preferiblemente el vidrio comprende además uno o más óxidos de metal alcalino. En particular preferiblemente el vidrio comprende además uno o más de Li₂O, Na₂O y K₂O y mezclas de los mismos. El uno o más óxidos de metal alcalino pueden estar presentes en una cantidad de 25% en mmoles o menos, preferiblemente 20% en moles o menos, en particular preferiblemente en 10% en moles o menos. Por ejemplo, el óxido de metal alcalino puede estar presente en una cantidad de aproximadamente 9% en moles. El óxido de metal alcalino puede ser un modificador de red.
- Preferiblemente el vidrio comprende adicionalmente uno o más haluros de metal, en particular preferiblemente un haluro de metal alcalino. El haluro de metal puede ser un modificador de red.
- 25 El uno o más haluros de metal se pueden seleccionar del grupo que consiste en BaCl₂, PbCl₂, PbF₃, LaF₃, ZnF₂, BaF₂, NaCl, NaF, LiF y mezclas de los mismos. El uno o más haluros de metal pueden estar presentes en una cantidad de 20% en moles o menos.
- El vidrio puede comprender adicionalmente un fosfato de metal alcalino o de metal alcalinotérreo.
- 30 El vidrio puede comprender adicionalmente un compuesto de refuerzo que comprende fósforo o boro. El compuesto de refuerzo puede ser un óxido de fósforo o de boro. Preferiblemente el compuesto de refuerzo comprende P₂O₅ o B₂O₃ o una mezcla de los mismos. El compuesto de refuerzo puede reforzar el índice de refracción del vidrio. El compuesto de refuerzo puede provocar dispersión de luz aleatoria.
- El vidrio puede estar dopado con un lantánido. El vidrio puede estar dopado con un óxido de lantánido.
- 35 El vidrio puede estar dopado con al menos uno de erbio, iterbio, neodimio, praseodimio, holmio, cerio, itrio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio o lutetio.
- El vidrio puede estar dopado con uno o más iones lantánidos.
- Preferiblemente el vidrio está dopado con uno o más iones seleccionados del grupo que consiste en Nd³⁺, Yb³⁺, Er³⁺, Tm³⁺, Pr³⁺, Ho³⁺, Sm³⁺, Eu³⁺, Tb³⁺ y Ce³⁺.
- Preferiblemente el vidrio está dopado con Tm³⁺ o Er³⁺, en particular preferiblemente Er³⁺.
- 40 El dopante tierra rara está presente de forma típica en una cantidad en el intervalo de 0,01 a 5% en moles, preferiblemente de 0,5 a 2% en moles (por ejemplo, aproximadamente 1% en moles).
- Se pueden seleccionar las longitudes de onda a las que el dispositivo es capaz de acción láser aleatoria. Las longitudes de onda se pueden seleccionar mediante selección de un dopante de tierra rara determinado o mezcla de dopantes de tierras raras. Mediante la selección de un dopante de tierra rara o mezcla de dopantes de tierra rara y usando un esquema de excitación/bombeo apropiado, se pueden seleccionar las longitudes de onda a las que el dispositivo es capaz de accionamiento láser aleatorio desde un intervalo de 600 nm a 5000 nm.
- 45 El vidrio puede presentar un pico de emisión en el intervalo de 1450 a 1650 (por ejemplo, a aproximadamente 1550 nm).
- 50 El vidrio puede presentar una sección transversal de emisión mayor de $1 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$ a una longitud de onda de 1535 nm.
- El máximo a mitad de altura de anchura completa espectral mostrado por el vidrio es típicamente de 50 nm o más.

El vidrio puede ser un vidrio de alto índice de refracción. El vidrio, cuando está en la forma de una película, puede presentar un índice de refracción efectivo de 1,5 o más. El índice de refracción efectivo a un espesor de 770 nm y una longitud de onda de 633 nm es típicamente de aproximadamente 1,55.

El guía-ondas puede ser un guía-ondas de fibra, canal, planar o placas. Se prefiere un guía-ondas planar.

- 5 El guía-ondas es típicamente de la forma de una película delgada. La película delgada puede tener un espesor menor de 10.000 nm (10 μ m), preferiblemente menor de 5.000 nm (5 μ m), preferiblemente menor de 1000 nm, preferiblemente menor de 500 nm. Preferiblemente la película delgada presente un espesor en el intervalo de 115 a 777 nm.

- 10 El sustrato puede ser un sustrato basado en silicio. El sustrato puede ser un sustrato polimérico. El sustrato puede comprender un polímero. El sustrato puede comprender un dispositivo electroluminiscente. El sustrato puede comprender un dispositivo fotoluminiscente.

Preferiblemente el sustrato es un sustrato basado en silicio. El sustrato basado en silicio puede ser o incluir silicio, vidrio de sílice, óxido de silicio o hidruro de silicio. El sustrato basado en silicio puede ser un semiconductor.

El índice de refracción efectivo del sustrato basado en silicio puede ser aproximadamente 1,455 a 633 nm.

- 15 El dispositivo puede ser capaz de accionamiento láser aleatorio mediante excitación eléctrico u óptica. El dispositivo puede ser capaz de accionamiento láser aleatorio excitándose ópticamente mediante un diodo láser de onda continua de 980 nm a un umbral por debajo de 50 μ W.

El dispositivo puede ser capaz de accionamiento láser aleatorio a una longitud de onda en el espectro UV, visible, IR cercano o espectro IR medio.

- 20 El dispositivo se puede obtener mediante ablación de una diana de vidrio con radiación incidente desde un láser ultrarrápido en presencia de un sustrato basado en silicio.

Es de importancia patentable independiente el reconocimiento de que a ciertas geometrías de excitación, es posible alcanzar diferentes longitudes de onda de acción láser desde el dispositivo de la invención.

En vista de un aspecto adicional la presente invención proporciona un ensamblaje láser que comprende:

- 25 un dispositivo como se define en adelante; y
un excitador aguas abajo del dispositivo y capaz de excitar el dispositivo en una salida láser.

El excitador puede ser un excitador focalizado.

- 30 El ensamblaje alcanza de forma sorprendente acción láser a diferentes longitudes de onda en toda la anchura de la línea de emisión espontánea (por ejemplo, de 1512,75 a 1612,15 nm para erbio), sin espejos simplemente variando la disposición relativa del excitador y dispositivo.

Preferiblemente el ensamblaje láser es un ensamblaje láser sintonizable. El ensamblaje láser sintonizable puede ser sintonizable en un intervalo de hasta 100 nm.

Preferiblemente el ensamblaje láser comprende adicionalmente un detector aguas arriba y capaz de medir la salida láser del dispositivo.

- 35 Preferiblemente el ensamblaje láser comprende adicionalmente un colector aguas arriba y capaz de recoger la salida láser del dispositivo.

Preferiblemente la disposición angular del excitador y dispositivo es ajustable. Esto permite la sintonización del ensamblaje láser para ser explotado.

- 40 Preferiblemente el excitador es una fuente de radiación electromagnética. Por ejemplo, el excitador puede ser un láser diodo o diodo de emisión de luz (LED o SLED). El excitador puede ser un láser semiconductor. Por ejemplo el excitador puede ser una superficie de cavidad vertical que emite láser (VCSEL). El excitador puede ser un láser de onda continua.

El excitador puede ser un láser de bombeo. El láser de bombeo puede tener una longitud de onda de salida de 980 nm.

- 45 A la vista de un aspecto adicional la presente invención proporciona un procedimiento para la fabricación de un dispositivo como se definió anteriormente en esta invención que comprende:

ablación de una diana de vidrio con radiación incidente de un láser ultrarrápido en presencia de un sustrato con lo que se deposita una cantidad de la diana de vidrio en el sustrato.

5 El sustrato puede ser un sustrato basado en silicio. El sustrato puede ser un sustrato polimérico. El sustrato puede comprender un polímero. El sustrato puede comprender un dispositivo electroluminiscente. El sustrato puede comprender un dispositivo fotoluminiscente.

Preferiblemente el sustrato es un sustrato basado en silicio. El sustrato basado en silicio puede ser o incluir silicio, vidrio silícico, óxido de silicio o hidruro de silicio. El sustrato basado en silicio puede ser un semiconductor.

Preferiblemente la diana de vidrio se monta en una plataforma rotacional.

10 El sustrato puede espaciarse lejos de la diana de vidrio (por ejemplo, mediante una distancia de aproximadamente 70 mm). El sustrato puede calentarse (por ejemplo, hasta una temperatura de 600° C o más).

La radiación incidente puede ser incidente en la diana de vidrio según un ángulo en el intervalo de 40 a 80° C (por ejemplo, aproximadamente 60°).

15 La capa ultrarrápida puede ser un láser pulsado. Preferiblemente el láser ultrarrápido es capaz de emitir pulsos ultracortos que son ablativos de la diana de vidrio. El láser ultrarrápido puede ser un láser femtosegundo o picosegundo. Preferiblemente el láser ultrarrápido es un láser femtosegundo. En el procedimiento de la invención el láser ultrarrápido puede emitir pulsos de 15ps o menos (por ejemplo, pulsos en el intervalo de 5 fs a 15 ps). Preferiblemente en el procedimiento de la invención el láser ultrarrápido emite pulsos de 150 fs o menos, preferiblemente en el intervalo de 50 a 150 fs, en particular preferiblemente aproximadamente 100 fs. Los pulsos pueden ser emitidos con una frecuencia de repetición en el intervalo de 1 Hz a 100 MHz, preferiblemente 1 kHz a 20 MHz, preferiblemente 1 kHz a 1 MHz, preferiblemente 1 kHz a 200 kHz.

20 El láser ultrarrápido puede ser bloqueado en cuanto a modo. La potencia media del láser ultrarrápido puede ser de 80 W o inferior. La longitud de onda es de forma típica aproximadamente 800 nm.

25 El láser ultrarrápido puede ser (por ejemplo) un láser Ti-zafiro, un láser bombeado desde un diodo tal como un láser de cristal o un láser de fibra dopado con Yb o dopado con Cr. El láser puede ser un láser excimer o un láser exciplex.

La energía de pulso se encuentra de forma típica en el intervalo de 1 µJ a 100 mJ, preferiblemente de 10 µJ a 100 mJ (por ejemplo, en el intervalo de 50 a 300 µJ). La energía de pulso puede ajustarse de forma selectiva usando un atenuador.

30 El procedimiento se lleva a cabo de forma típica en una cámara de vacío. El procedimiento puede llevarse a cabo a presión reducida (por ejemplo, en presencia de oxígeno a una presión parcial de aproximadamente 9,33 Pa). La duración del procedimiento puede ser de 30 minutos o más.

35 El dispositivo de acuerdo con la invención se puede usar en comunicación, ordenador o tecnología de visualización y en ensamblajes láser. El dispositivo de acuerdo con la invención se puede usar en ópticas integradas (por ejemplo, como una fuente de señal), detección química, detección ambiental, bio-detección, espectroscopía micro-nano, comunicación óptica, dispositivos microfluídicos, dispositivos optofluídicos, amplificadores de terahertz, lab-on-chip o tomografía óptica.

Se describirá ahora una realización de la invención de forma detallada y mediante ejemplos sólo en referencia a los dibujos acompañantes en los que:

40 Figura 1 muestra el espectro de transmitancia óptica (en incidencia normal) registrado usando la región de longitud de onda UV-VIS-NIR de una película en un dispositivo de acuerdo con una realización de la presente invención;

Figura 2a muestra una micrografía óptica de la película de la figura 1 a una amplificación de 20 veces;

Figura 2b muestra una micrografía óptica de la película de la figura 1 a una amplificación de 50 veces;

Figure 2c muestra una micrografía óptica del interior de la película de la figura 1 a una amplificación de 50 veces;

Figura 3 muestra el espectro de fluorescencia de la película en comparación con la de la diana vidrio;

45 Figura 4 muestra la absorción y emisión de fotones con los iones de erbio que proporcionan el mecanismo láser de erbio;

Figura 5a muestra cómo se controla la fluorescencia de la película a diferentes ángulos de recogida θ mediante variación del ángulo de incidencia del láser bomba mediante rotación de la película en el sentido de las agujas del reloj.

Figura 5b muestra el espectro de salida resultante a diferentes posiciones angulares definidas en la figura 5a;

Figura 6a muestra el espectro de longitud de onda más larga observada que corresponde a un ángulo de 39° (error de $\pm 0,5^\circ$);

5 Figura 6b muestra acción láser observada también a longitudes de onda por debajo de 1534 nm donde la sección transversal de absorción es mayor que la sección transversal de emisión;

Figura 6c muestra que la acción láser se observaba a longitudes de onda tan bajas como 1515 nm;

Figura 7 muestra el espectro del láser a dos diferentes energía de bomba;

Figura 8 muestra la intensidad de salida integrada vs potencia de bomba incidente;

Figura 9 muestra una imagen AFM de una sección de la superficie de una muestra de la película de vidrio;

10 Figura 10 muestra la salida de emisión láser de una muestra de la película de vidrio; y

Figura 11 muestra la potencia umbral que varía con diferentes ángulos de θ .

Ejemplo

Fabricación de película de vidrio de telurita de tamaño nanométrico dopada con iones de erbio en un sustrato de vidrio de sílice mediante deposición láser pulsado

15 Se preparó un vidrio de telurita diana mediante fusión en discontinuo y desactivación de TeO_2 , ZnO y Na_2O a una composición molar relativa de 80% en moles de TeO_2 , 10% en moles de ZnO y 10% en moles de Na_2O . Se dopó el vidrio con 1% en moles de óxido de erbio. El vidrio de telurita diana resultante presentaba la composición: 80% en moles de TeO_2 , 10% en moles de ZnO , 9% en moles de Na_2O y 1% en moles de óxido de erbio. El vidrio de telurita presenta un índice de refracción muy alto (> 2 a 633 nm) proporcionando fuerte dispersión.

20 Se dispuso un sustrato de vidrio de sílice a una distancia de 70 mm por encima del vidrio de telurita diana en una cámara. La cámara se bombeó por debajo de $133,3 \times 10^{-6}$ Pa y se mantuvo la atmósfera de oxígeno a una presión de 9,33 Pa. La temperatura del calentador de sustrato se fijó en 700°C y se mantuvo a esta temperatura durante la deposición.

25 Se prepararon películas delgadas de vidrio mediante un procedimiento de ablación usando un láser femtosegundo. El láser se focalizó con una duración de pulso de 100 fs a un ángulo de incidencia de 60° en el vidrio de telurita diana. La energía del láser con una frecuencia de repetición de 500 Hz fue de 52 μJ .

Se llevó a cabo la ablación láser durante 3 horas. Se rotó la diana a una velocidad de 40 rpm y se aplicó un entramado apropiado para la ablación de la diana uniformemente mientras el sustrato estaba a una velocidad de 20 rpm. Se enfrió el sustrato hasta temperatura ambiente rápidamente tras deposición.

30 Se desplegó un enfoque empírico para optimizar los parámetros del procedimiento para optimizar la calidad de la película. Esto fue exitoso incluso a pesar de que la posición relativa del punto del láser en la diana respecto al sustrato era constante durante la ablación. Hubo una modulación del espesor que es atribuible al perfil de densidad del plasma del láser.

35 Propiedades

Se examinó por diferentes procedimientos la película de vidrio de telurita dopado con erbio fabricada en un sustrato de vidrio de sílice mediante el procedimiento de ablación de láser femtosegundo descrita anteriormente.

40 La figura 1 muestra el espectro de transmitancia óptica (en incidencia normal) de la película registrado usando la región de longitud de onda UV-VIS-NIR. La película mostró transmitancia muy alta ($> 98\%$) en la región de longitud de onda y un modelo de interferencia distinto indicativo de buena uniformidad.

45 Si bien se presentan a continuación los resultados de una única película, se observó acción láser en películas que presentan menor espesor y diferentes porosidades. Se investigaron las propiedades ópticas de la película usando elipsometría espectroscópica y mostraron algunas características interesantes. El espesor en la mitad de la muestra que presenta dimensiones de $3 \times 2 \text{ cm}^2$ obtenida de los datos de elipsometría fue de 777 nm y la variación de espesor fue aproximadamente 150 nm/cm a lo largo de la película. La variación de espesor se atribuye al hecho de que la posición relativa del punto de ablación láser y el sustrato era constante durante la deposición y el haz láser presentaba un perfil de intensidad gaussiano con un área de punto menor de $3000 \mu\text{m}^2$. La rugosidad de superficie de la película se encontraba en el intervalo de 17 a 23 nm en la superficie donde se llevó a cabo los experimentos láser. Esta rugosidad de la película resultó en un menor índice de refracción que el de la diana de vidrio usado para

preparar la película. A 633 nm el índice de refracción del vidrio medido usando elipsometría espectroscópica fue de 1,935 mientras que el de la película fue de 1,549 en una región donde la rugosidad de superficie fue de 22,69 nm y 1,552 a una rugosidad menor de 17,16 nm. Los resultados de la elipsometría espectroscópica fueron una indicación clara de una película nanoporosa.

- 5 La micrografía óptica de las películas mostrada en la figura 2 no reveló craqueo o pelado. Sin embargo la rugosidad de la superficie es claramente evidente. Con el fin de entender adicionalmente la morfología de la película se usó microscopía de fuerza atómica (AFM). La figura 9 muestra una imagen AFM de una sección de la superficie de una película de vidrio. La rugosidad de superficie de la película vidrio en la nanoescala se puede ver claramente en la figura 9. La dimensión de las hebras de vidrio formadas en el sustrato mostraron la distribución aleatoria.

10 Rendimiento de láser

Se excita la película usando un haz focalizado de un diodo láser de tipo pigtail de fibra con una salida en pico a 980 nm y se recogió fluorescencia transversal a la película y se detectó usando un tubo fotomultiplicador enfriado con nitrógeno líquido unido a un espectrofluorímetro de Edinburgh instruments (RU).

- 15 La figura 3 muestra el espectro de fluorescencia de la película 10 en comparación con la de la diana de vidrio 20 de telurita en masa.

- La absorción y emisión de fotones por los iones de erbio tiene lugar con el procedimiento mostrado en la figura 4. El láser de bombeo en torno a 980 nm excita los iones en el nivel $^4I_{11/2}$ y algunos iones relajan no radiactivamente hasta $^4I_{13/2}$. Los iones de erbio en este estado excitado decaen radiactivamente al estado base $^4I_{15/2}$ mediante emisión de fotones en la banda de longitud de onda en pico en torno a 1535 nm. Esta emisión particular se ha explotado satisfactoriamente en fibra óptica y amplificadores guíaonda y es el núcleo del éxito de los sistemas de comunicación ópticos de fibra de banda ancha.
- 20

- La anchura espectral de la señal de fluorescencia para la película se ha estrechado en comparación con la del vidrio de telurita diana. El FWHM para el vidrio es 72,6 nm mientras que la de la película es solo de 31 nm. Este estrechamiento del espectro se atribuye a la amplificación de la emisión espontánea mediante dispersión y emisión estimulada en un medio aleatorio.
- 25

- El espectro observado de la película es evidencia directa del modelo que predice que el espectro de emisión se estrecha por encima del umbral con una intensidad máxima a la longitud de onda de ganancia máxima. Esto se manifiesta en el desplazamiento del pico del espectro hacia longitudes de onda mayores y también en la mayor tiempo de decaimiento de fluorescencia de 11,9 ms observado para la película mientras que la diana era solo de 3,8 ms.
- 30

Debido a que el estrechamiento espectral y el mayor tiempo de vida apuntan claramente a acción láser aleatoria con localización, el ángulo de incidencia (que corresponde a θ) del láser de bombeo 30 se variaba con rotación de la muestra de película 40 en la dirección de las agujas del reloj y se monitorizó la fluorescencia a diferentes ángulos de recogida θ con el detector 50 (véase la figura 5a).

- 35 Se observó acción láser a un ángulo de recogida en torno a 39° en la cola de longitud de onda mayor de la banda de erbio. Se presentaron modos discretos en el espectro con el modo de acción láser de longitud de onda más larga a 1615,15 nm. Los picos de láser se registraron luego sistemáticamente variando el ángulo a una potencia de bombeo incidente constante de 37,39 mW y el espectro de salida resultante a diferentes ángulos se muestra en la figura 5b.

- El espectro de longitud de onda más largo observado que corresponde a un ángulo de 39° (error de $\pm 0,5^\circ$) se muestra agrandado en la figura 6a. La banda de emisión láser se extendía en el intervalo de longitud de onda de 1604,3 a 1615,15 nm. La resolución del espectrómetro fue de 0,3 y no se resolvieron picos con anchuras menores que esta. La longitud de onda del láser pico se desplazó hacia las longitudes de onda menores en el espectro de iones de erbio cuando se aumentaba el ángulo de recogida. La acción láser con puntas estrechas en el espectro predichas en láser aleatorios se observaban claramente en todo el espectro de iones de erbio y la acción láser se observaba también de forma sorprendente a longitudes de onda bien por debajo de 1534 nm cuando la sección transversal de absorción es mayor que la sección transversal de emisión (véase las figuras 6b). Se observó acción láser a longitudes de onda tan bajas como 1515 nm (véase la figura 6c).
- 40
- 45

- La figura 10 muestra la intensidad del láser integrado para el intervalo de longitud de onda 1610-1625 nm representado frente a la energía de bombeo incidente. El umbral del láser es aproximadamente 290 μ W pero varía a diferentes posiciones sobre la película y para diferentes longitudes de onda de acción láser, sin embargo el umbral está en el intervalo de sub-mW, para longitudes de onda anteriores 1520 nm, y es el más bajo registrado para láser aleatorio.
- 50

Figura 11 muestra la potencia umbral que varía con diferentes ángulos θ . La potencia umbral para diferentes ángulos de θ se tabula en la tabla 1 siguiente:

55

Tabla 1: variación de la potencia umbral con diferentes ángulos θ

θ	Potencia umbral (μW)
39	290
41	65
43	75
45	25
47	20
49	50
51	100

Esto es una demostración de amplificación mediante localización, es decir, un fotón emitido espontáneamente que es amplificado con la localización en un medio aleatorio. La figura 6 también muestra el amplio espectro de emisión espontánea amplificada. Esta es la acción láser de longitud de onda más baja registrada alguna vez en un sistema dopado con erbio y profundidad definitiva de localización de luz en la película de vidrio porosa.

El tamaño del punto del láser en la película cuando estaba orientado en un ángulo correcto respecto al haz láser incidente era de 1,36 mm. Esto significa que se trata de una acción láser de una zona de aproximadamente $1,45 \text{ mm}^2$ o un volumen de $1,13 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$. El desplazamiento del espectro hacia longitudes de onda más cortas con reducción del ángulo se atribuye al acortamiento del fotón significa ruta libre de los fotones que permiten solo longitudes de onda más cortas para adquirir el umbral para el láser.

Dependencia del espectro láser e intensidad integrada en la potencia de láser incidente

El ángulo de recogida se fijó en 48° y se observó acción láser incluso por debajo del umbral del diodo de láser usado en el experimento debido al ruido de emisión espontánea. La potencia fuera de $\sim 15 \mu\text{W}$.

La figura 7 muestra el espectro del láser a dos potencias de bomba diferentes. Es evidente la excelente estabilidad de modo de la figura 7 mediante comparación de los picos observados a dos potencias diferentes bien por encima del umbral del láser. Esto es otra característica de un láser aleatorio.

La potencia umbral ($< 26 \text{ mW/mm}^2$) es la más baja registrada alguna vez para un láser de erbio y para un láser aleatorio. La intensidad de salida integrada vs a la potencia de bombeo incidente se muestra en la figura 8.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para obtener una acción láser aleatoria que comprende:

- fabricación de un dispositivo (40) que comprende un sustrato y un vidrio dopado con tierras raras fabricado sobre el sustrato en la forma de un guía-ondas, en el que el vidrio comprende un vidrio de germanio, un vidrio de titanio o un vidrio de calcogenuro, en el que la fabricación comprende las dos etapas de:

- ablación de una diana de vidrio con radiación incidente de un láser ultrarrápido en presencia de un sustrato con lo que se deposita una cantidad de la diana de vidrio en el sustrato, y

- aplicación de un entramado para la ablación de la diana de vidrio uniformemente,

- en el que el láser ultrarrápido emite pulsos de 15 ps o menor y la posición relativa del punto de láser en la diana vidrio respecto al sustrato es constante durante la ablación y en el que el perfil de intensidad gaussiana del haz láser tiene un área de punto inferior a $3000 \mu\text{m}^2$,

y el procedimiento comprende adicionalmente:

- excitación del dispositivo mediante una fuente de radiación electromagnética (30).

2. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el láser ultrarrápido es un láser de femtosegundo.

3. Un procedimiento como se reivindica en la reivindicación 1 ó 2, en el que la radiación incidente del láser ultrarrápido se emite en pulsos con una duración de 150 fs o menor.

4. Un procedimiento como se reivindica en las reivindicaciones 1, 2 ó 3 en el que la radiación incidente del láser ultrarrápido se emite en pulsos con una frecuencia de repetición en el intervalo de 1 Hz a 100 MHz.

5. Un procedimiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en el que la energía de pulso de radiación incidente está en el intervalo de 1 μJ a 100 mJ.

Figura 1

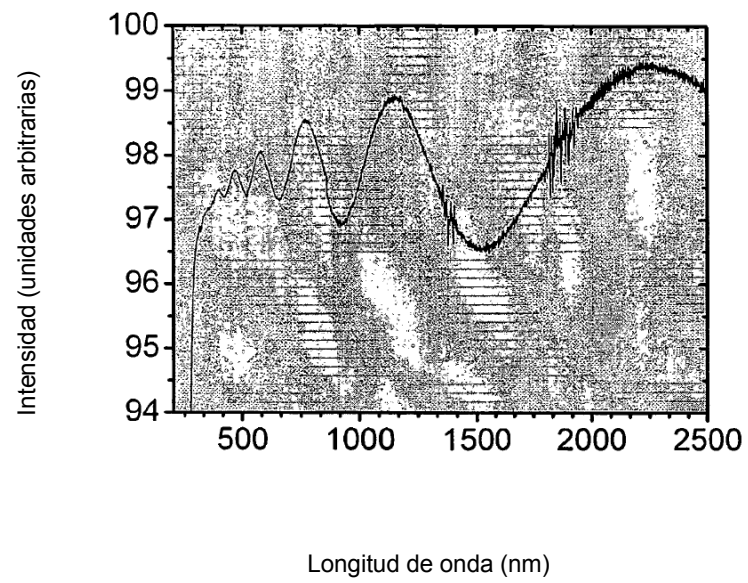


Figura 2a

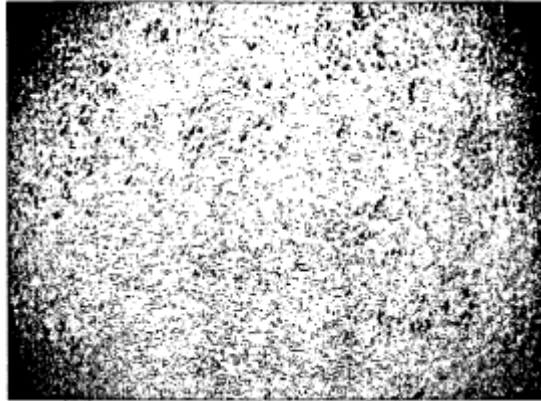


Figura 2b



Figura 2c

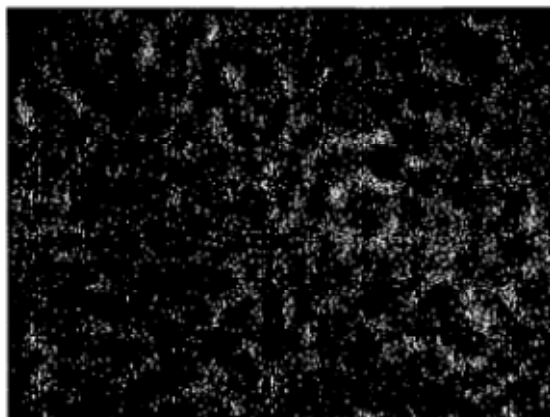


Figura 3

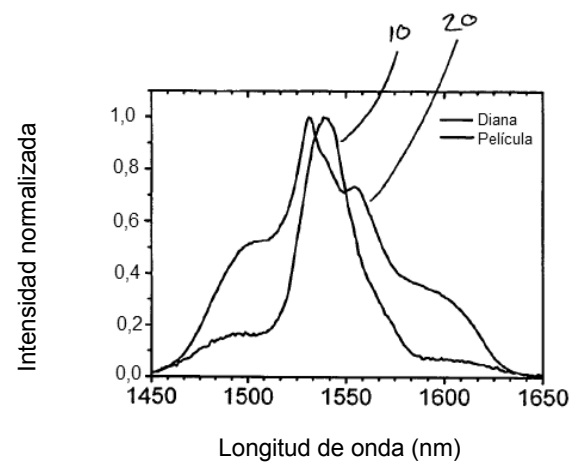


Figura 4

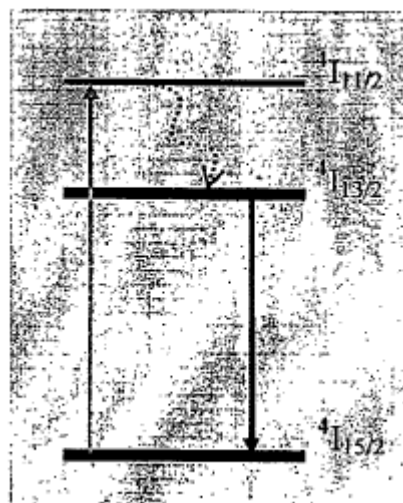


Figura 5a

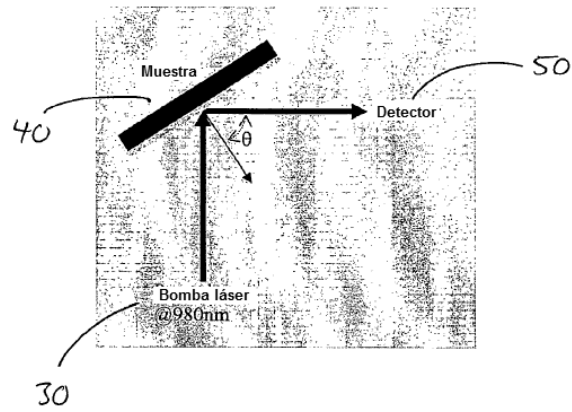


Figura 5b

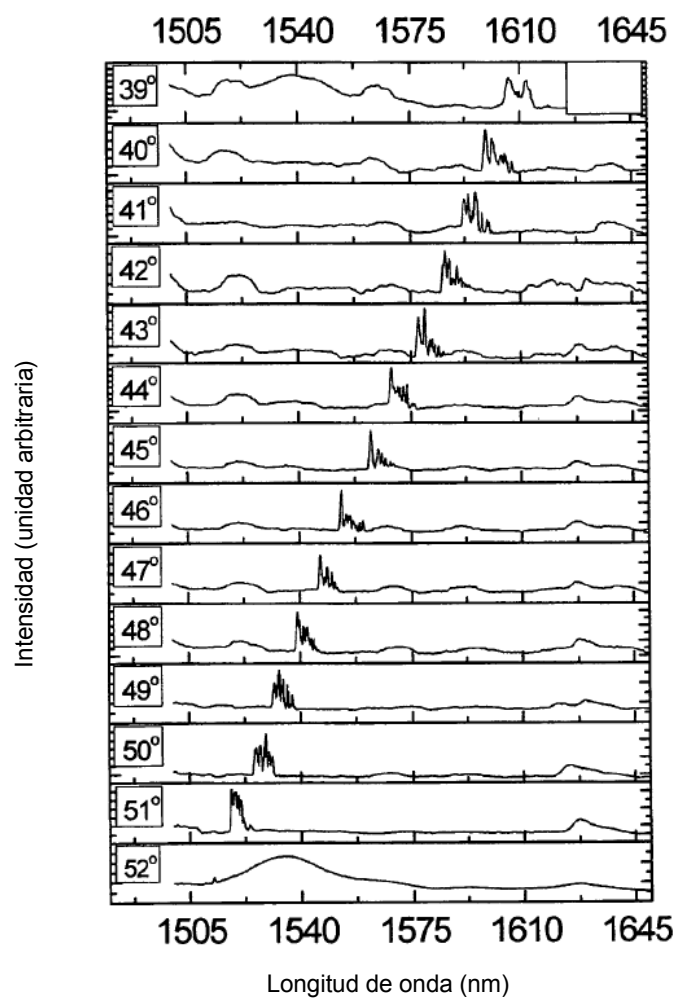


Figura 6

Figura 6 c

Intensidad (unidades arbitrarias)

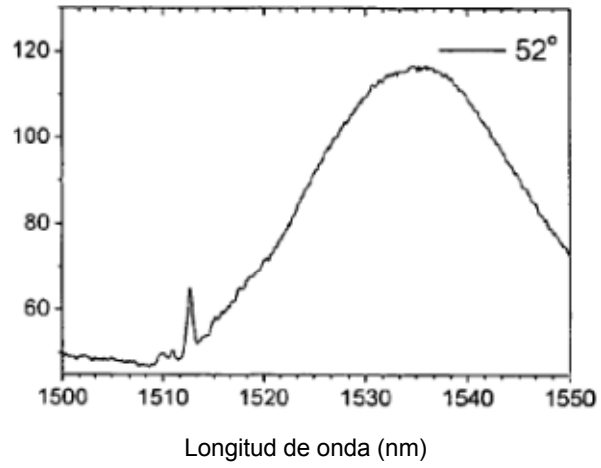


Figura 6 b

Intensidad (unidades arbitrarias)

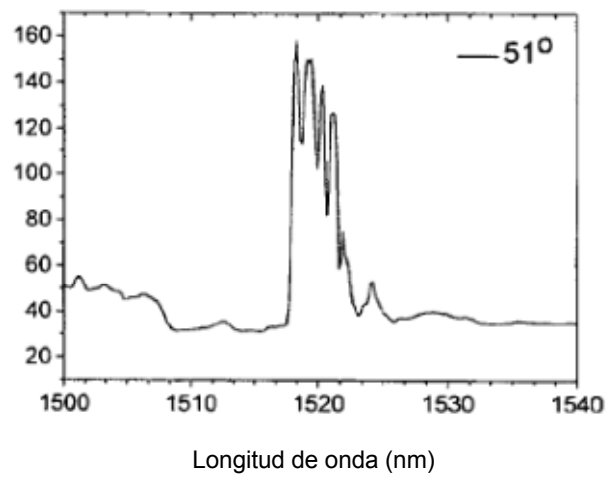


Figura 6 a

Intensidad (unidades arbitrarias)

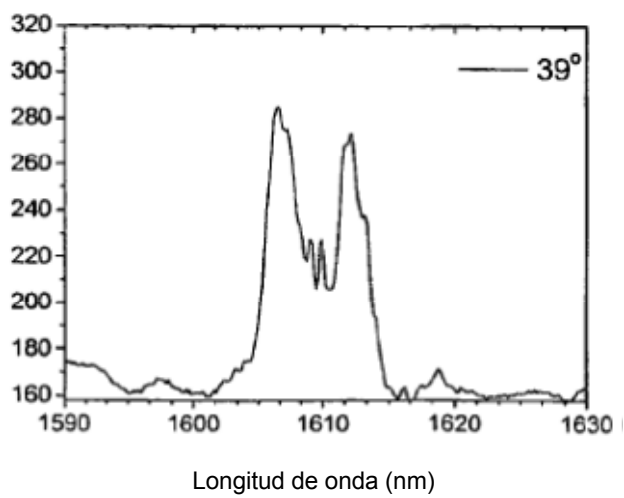


Figura 7

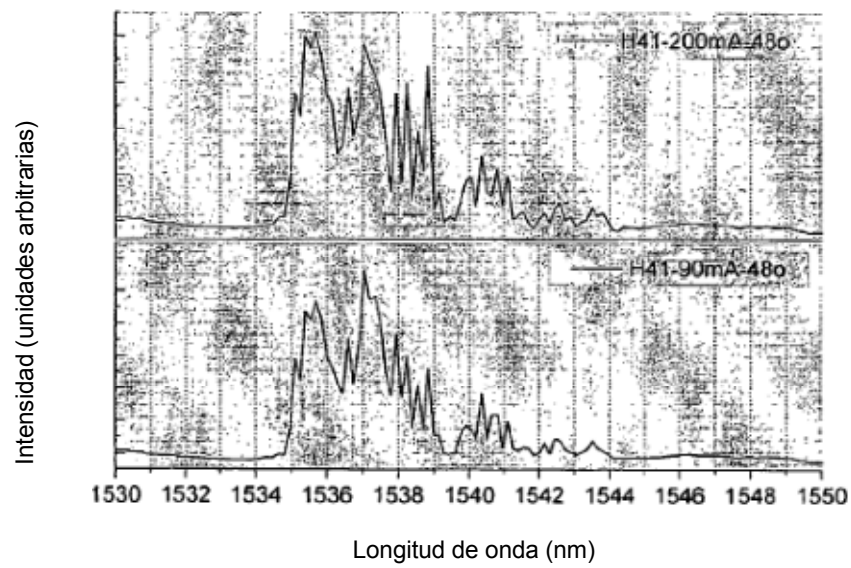


Figura 8

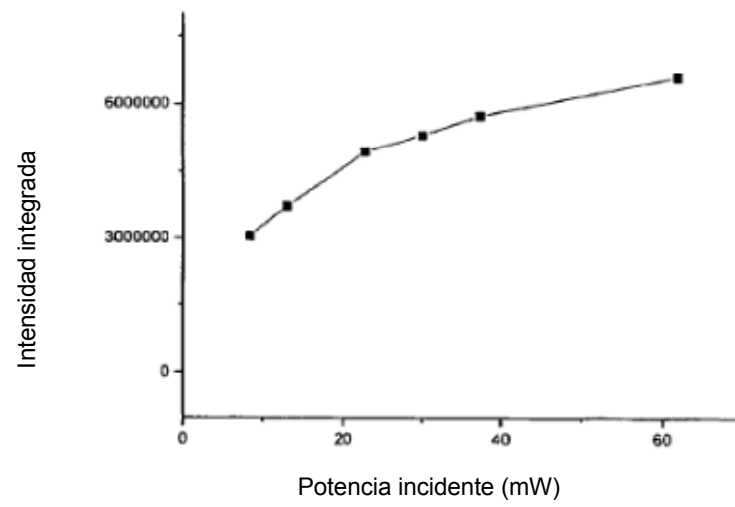


Figura 9

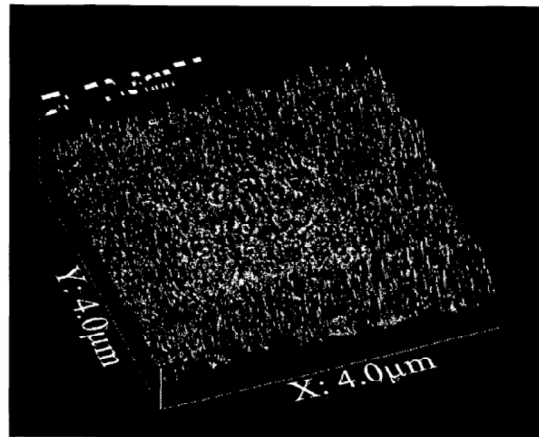


Figura 10

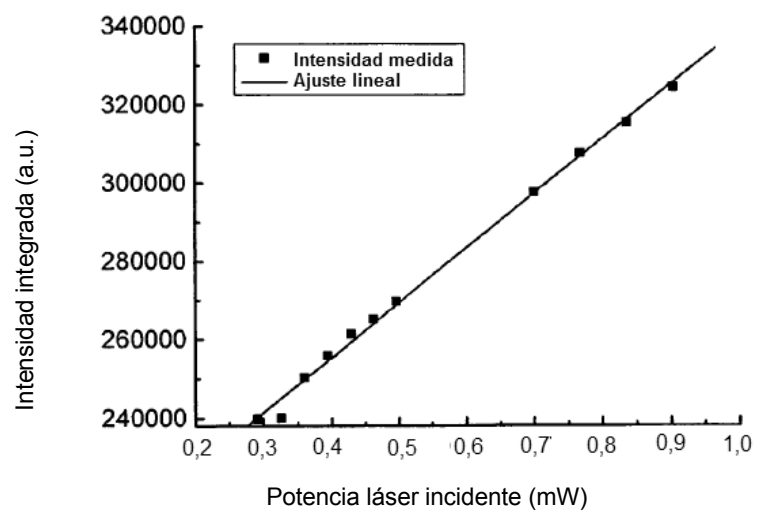


Figura 11

