(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 325 894**

(21) Número de solicitud: 200600446

(51) Int. Cl.:
C23C 14/02 (2006.01)
C23C 14/34 (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A1

(22) Fecha de presentación: **24.02.2006**

(43) Fecha de publicación de la solicitud: **23.09.2009**

(43) Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **23.09.2009**

(71) Solicitante/s: **Universidad de Cádiz**
OTRI-Universidad de Cádiz
c/ Ancha, 16
11001 Cádiz, ES

(72) Inventor/es: **González Leal, Juan María y Ángel Ruiz, José Andrés**

(74) Agente: **Arias Sanz, Juan**

(54) Título: **Método y aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos.**

(57) Resumen:
Método y aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos.
La presente invención propone un método para la fabricación de elementos ópticos difractivos de una forma simple y económica. Este método incluye los siguientes pasos: (a) situar un substrato transparente próximo a un material de partida, ambos ubicados en el interior de una cámara; (b) modular espacialmente una radiación proveniente de una fuente de radiación según un patrón de difracción requerido; (c) irradiar el substrato de forma que la radiación lo atraviese; (d) exponer el material de partida a la radiación transmitida a través del substrato, de modo que al incidir la radiación sobre el material de partida se produzca su evaporación o sublimación; (e) depositar la fase de vapor del material de partida sobre el substrato; y (f) registrar en el material depositado una estructura difractiva durante el proceso de deposición irradiando el material depositado de forma concurrente a través del substrato con la radiación modulada. El elemento fabricado presenta funcionalidad óptica difractiva a causa de los cambios locales inducidos en su estructura, gobernados por la distribución de la intensidad luminosa empleada en el proceso de fabricación

ES 2 325 894 A1

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos.

Referencias citadas

Patentes

US 5,910,256	6/1999	Tsunetomo *et al*.
US 6,110,291	8/2000	Haruta *et al*.
US 6,452,698 B1	9/2002	Vlcek *et al*.
US 6,649,861 B2	11/2003	Duignan
US 6,766,764 B1	7/2004	Chrisey *et al*.
US 6,924,457 B2	8/2005	Koyama *et al*.

Otras publicaciones

J. **Teteris** y M. **Reinfelde**, "Holographic recording in amorphous chalcogenide semiconductor thin films", *Journal of Non-Crystalline Solids* 326&327 (2003) 494.

A.V. **Kolobov** y Ka. **Tanaka**, en "Photoinduced Phenomena in Amorphous Chalcogenides: From Phenomenology to Nanoscale", Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices, Vol. 5, Hari Singh Nalwa, ed. (*Academic Press*, San Diego, 2001), p. 47.

A. **Zakery**, Y. **Ruan**, A. V. **Rode**, M. **Samoc** y B. **Luther-Davies**, "Low-loss waveguides in ultrafast laser-deposited As2S3 chalcogenide films", *J. Opt. Soc. Am*. B 20 (2003) 1844.

Campo de la invención

La presente invención se enmarca en el campo de los elementos ópticos con funcionalidad difractiva, y los métodos para fabricarlos.

Estado de la técnica

Los elementos ópticos tienen una gran importancia en todos aquellos campos tecnológicos en los que se necesita modular la distribución espacial de la luz. Ante tal demanda, se hace necesaria la optimización de las técnicas de fabricación de estructuras ópticas simples, así como la producción de estructuras ópticas con nuevas funcionalidades.

Existe una variedad de métodos para la fabricación de elementos ópticos difractivos, así como para el registro de estructuras difractivas en medios semiconductores, los cuales se basan en el procesado de un material soporte empleando técnicas fotolitográficas clásicas, u otras más modernas de ablación láser [US 5,910,256] [US 6,924,457 B2], o registro holográfico [US 6,452,698 B1] [Teteris y Reinfelde]. A diferencia de la presente invención, todos ellos comparten el carácter secuencial (*no concurrente*) del proceso, es decir, los métodos incluyen (a) la preparación previa del material soporte, y (b) su procesado posterior.

Por otro lado, por su relevancia con la invención aquí expuesta y reclamada, y al entender de los firmantes, son de destacar los métodos de deposición asistidos por luz, los cuales son ampliamente conocidos y usados en tecnologías *planares* [US 6,110,291]. En estas tecnologías se emplean láseres pulsados para la deposición de compuestos conductores, semiconductores y superconductores, destinados a integrar dispositivos ópticos y/o electrónicos, tanto activos como pasivos. Así, pueden encontrarse patentes reclamando derechos sobre la explotación industrial de un variado número de dispositivos planares basados en el método de deposición asistido por láser pulsado o PLD. Una búsqueda avanzada demuestra, además, que en todos los casos las invenciones evitan la interacción entre el haz láser y la fase de vapor, o pluma de plasma, generada a partir del material de partida, de forma que la configuración de los sistemas empleados consideran que el haz pulsado que produce la ablación del material de partida y la pluma del material eyectado son *no colineales*, y en ningún caso se considera *actuación concurrente alguna sobre el depósito durante su crecimiento, vía irradiación luminosa*.

Igualmente, por su relevancia con la presente invención, y con el fin de demostrar su actividad inventiva, citamos el único caso encontrado [US 6,766,764 B1] en el que un haz láser pulsado incide a través de una de las caras de un substrato transparente. En esta patente, el substrato transparente no está destinado a servir de soporte al depósito y

permitir su fotomodelado estructural durante el crecimiento, sino que, por el contrario, soporta al material de partida. La invención citada considera que el substrato soporta una capa de un material que es fotoevaporable, la cual a su vez soporta a una capa del material destinado a ser depositado sobre un segundo substrato. La base de esta invención es que la evaporación fotoinducida del material de transferencia, a través del substrato transparente, produce la eyección del material de interés en una zona localizada del substrato receptor. Al igual que en los casos anteriores, en esta invención no se considera *actuación concurrente alguna sobre el depósito durante su crecimiento, vía irradiación luminosa*.

Finalmente, destacamos, de nuevo hasta donde ha alcanzado nuestra búsqueda, que en el único caso encontrado en el que se contempla la estructuración del depósito, ésta se realiza de forma secuencial, en dos pasos, dentro del sistema de fabricación, produciendo un depósito planar previo, vía irradiación luminosa, y la ablación posterior de éste, también mediante irradiación luminosa, que está condicionada a un cambio en la configuración del sistema que permite la exposición del material ya depositado al haz luminoso [US 6,649,861 B2]. En cualquier caso, el objeto de la invención (tecnologías planares) no es relevante para la actividad inventiva aquí expuesta.

Bases de la invención

La presente invención propone un método para la fabricación asistida por luz de depósitos de compuestos semiconductores que sirven de soporte a estructuras ópticas difractivas, que se sustenta en las siguientes evidencias físicas:

1. Fragmentos estructurales de los elementos constituyentes de compuestos semiconductores puede ser eyectados de un sólido al irradiarlos con luz de energía fotónica comparable (del orden de magnitud) a su gap óptico, con una intensidad lo suficientemente elevada. Esta intensidad depende del tipo de material semiconductor.

2. La fase de vapor generada, o pluma de plasma, se condensa sobre un substrato ubicado en las proximidades del material de partida, dando lugar a un depósito de este material sobre el substrato.

3. La morfología del depósito está relacionada con las características de la pluma o fase de vapor, las cuales dependen de la distribución espacial de la intensidad de la radiación luminosa sobre el material blanco, la radiancia espectral de la fuente luminosa, la distancia entre el material blanco y el substrato, la presión y la atmósfera en la cámara, la temperatura del material de partida, la temperatura del substrato, y el tiempo de irradiación.

4. La iluminación concurrente del depósito en crecimiento afecta las propiedades físico-químicas del material que forma dicho depósito, vía su efecto sobre la estructura del material en formación (ver Figura 1). La creación de estructuras con funcionalidad difractiva puede ser controlada a través de la distribución espacial de la intensidad luminosa que incide de forma concurrente sobre la zona de depósito del substrato, y pueden cubrir un amplio intervalo de espaciados difractivos [Kolobov y Tanaka]. Estas estructuras pueden ser de fase (consecuencia de cambios locales en el espesor y/o el índice de refracción en el depósito) y/o de amplitud (consecuencia de cambios locales en el coeficiente de absorción en el depósito).

Sobre la base de las anteriores evidencias, los firmantes de la presente patente proponen un método sencillo, no obvio, para la fabricación de estructuras ópticas difractivas en medios semiconductores.

Un escenario preferido para la invención, no exclusivo en lo que se refiere al material usado, ni a la configuración del sistema de fabricación, es aquel en el que un haz láser continuo, con una longitud de onda de 532 nm, y con una distribución espacial de la intensidad luminosa con su fase siguiendo el patrón de las zonas de Fresnel, atraviesa perpendicularmente un substrato transparente de caras planoparalelas antes de alcanzar un material blanco situado a pocos milímetros del substrato. Tal modulación puede conseguirse con un conjunto de elementos ópticos tal como se ilustra en la Figura 3. Tal material blanco es un disco (pastilla) de alrededor de 1 cm de diámetro y 2 mm de espesor, formado por polvo compactado de una aleación de un semiconductor amorfo V-VI (por ejemplo, una aleación de As y S), que es sensible a la energía fotónica de la radiación luminosa procedente de una fuente láser de Nd:YAG (2.33 eV). Las caras enfrentadas del substrato y de la pastilla son paralelas.

La configuración descrita produce un depósito con una morfología asférica, que soporta una distribución de anillos concéntricos en forma de relieves superficiales de alta frecuencia espacial, como ilustra la Figura 2. Tales elementos ópticos combinan la funcionalidad refractiva del perfil de baja frecuencia espacial, con la funcionalidad difractiva de alta frecuencia espacial añadida mediante las zonas de Fresnel. Esta combinación puede emplearse en la compensación, por ejemplo, de las aberraciones cromáticas que presentan estas estructuras ópticas cuando realizan su función óptica característica de forma independiente.

La transparencia de los semiconductores V-VI en la región espectral infrarroja (IR) [Kolobov y Tanaka] garantiza la estabilidad de los elementos ópticos fabricados en esta ventana espectral, lo que la convierte pues en la región espectral de trabajo preferida.

No obstante, los firmantes de la presente patente han observado que los elementos ópticos producidos según el escenario preferido descrito, y posiblemente debido a la iluminación concurrente del material siendo depositado, presentan una mayor transparencia óptica, y un umbral de daño más elevado a la radiación láser empleada en el proceso de fabricación, en comparación con el del material de partida. Se ha observado experimentalmente un aumento en la intensidad de daño de más de un orden de magnitud en aleaciones de composición $As_{20}S_{80}$, con respecto a la intensidad soportada por el material de partida.

Por otra parte, por su relevancia con la presente invención, se ha demostrado [Zakery *et al.*] que el recubrimiento de un depósito calcogenuro amorfo con una capa de polimetil metacrilato (PMMA), aumenta varios órdenes de magnitud el umbral de daño a la radiación para la que la aleación calcogenura, sin recubrimiento alguno, seria sensible.

Con tales evidencias, propias y reportadas en la literatura, se infiere que aunque la IR sea la ventana preferida, no debe considerarse como exclusiva.

Descripción de las figuras

Figura 1. Patrones de difracción de rayos X correspondientes a: (a) un lingote de la aleación amorfa $As_{20}S_{80}$, (b) una pastilla formada a partir del polvo compactado de este material, y que constituye el material de partida usado en los ejemplos reales descritos en esta patente, y (c) el correspondiente a un depósito realizado a partir de este material de partida mediante el método descrito en la presente invención. Los resultados demuestran la diferencia estructural entre el material depositado y el material de partida.

Figura 2. Esquema ilustrativo de la combinación de la funcionalidad refractiva de un elemento óptico asférico (a) y la funcionalidad difractiva de un elemento óptico formado por placas zonales de Fresnel (b), para formar un elemento óptico como el representado en (c), con la sección transversal mostrada en (d).

Figura 3. Ejemplo de una combinación de elementos ópticos que produce una modulación en la intensidad luminosa en la forma de placas zonales de Fresnel. Tal radiación actúa sobre el depósito en formación, para la fabricación, según la presente invención, de un elemento óptico que combina funcionalidades refractivas y difractivas.

Objetos:

100.- Material de partida.

101.- Substrato.

102.- Depósito.

201.- Divisor de haz.

202.- Lente.

203.- Lente.

204.- Espejo.

205.- Espejo.

206.- Lente.

207.- Divisor de haz.

208.- Lente.

209.- Atenuador.

300.- Haz luminoso.

301.- Componente transversal del haz 300 tras su paso por el divisor de haz 201.

302.- Componente longitudinal del haz 300 tras su paso por el divisor de haz 201.

Figura 4. Esquema de la sección transversal del aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según la presente invención, en una configuración colineal, donde un solo haz luminoso genera la fase de vapor del material de partida e irradia de forma concurrente el depósito durante su crecimiento.

Objetos:

1.- Cámara.

2 y 3.- Ventanas transparentes, practicadas en la cámara.

4.- Fuente de radiación luminosa.

5.- Material de partida.

6.- Substrato.

7.- Medios de modulación opto-mecánicos.

8.- Fuente calefactora.

Figura 5. Esquema de la sección transversal del aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos, según la presente invención, en una configuración colineal, donde más de una fuente de radiación luminosa interviene en el proceso.

Objetos:

1.- Cámara.

2 y 3.- Ventanas transparentes, practicadas en la cámara.

4.- Fuente de radiación luminosa.

5.- Material de partida.

6.- Substrato.

7.- Medios de modulación opto-mecánicos.

8.- Fuente calefactora.

9.- Fuente de radiación luminosa.

10.- Medios de modulación opto-mecánicos.

11.- Divisor de haz.

Figura 6. Esquema de la sección transversal del aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según la presente invención, en una configuración no colineal, donde una fuente de radiación luminosa interviene exclusivamente en la eyección del material de partida, y una fuente de radiación adicional interviene en la creación de estructuras difractivas en el depósito.

Objetos:

1.- Cámara.

2 y 3.- Ventanas transparentes, practicadas en la cámara.

4.- Fuente de radiación luminosa.

5.- Material de partida.

6.- Substrato.

7.- Medios de modulación opto-mecánicos.

8.- Fuente calefactora.

12.- Fuente de radiación luminosa.

13.- Medios de modulación opto-mecánicos.

14.- Espejo.

Figura 7. Esquema de la sección transversal del aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según la presente invención, en una configuración no colineal, donde dos o más fuentes de radiación luminosa intervienen en la eyección del material de partida, y dos o más fuentes de radiación adicionales intervienen en la creación de estructuras difractivas en el depósito.

Objetos:

1.- Cámara.

2 y 3.- Ventanas transparentes, practicadas en la cámara.

4.- Fuente de radiación luminosa.

5.- Material de partida.

6.- Substrato.

7.- Medios de modulación opto-mecánicos.

8.- Fuente calefactora.

9.- Fuente de radiación luminosa.

10.- Medios de modulación opto-mecánicos.

11.- Divisor de haz.

12.- Fuente de radiación luminosa.

13.- Medios de modulación opto-mecánicos.

14.- Espejo.

15.- Fuente de radiación luminosa.

16.- Medios de modulación opto-mecánicos.

17.- Divisor de haz.

Descripción de la invención

La presente invención propone un método según la reivindicación independiente 1 y un aparato según la reivindicación independiente 13 para la fabricación de elementos ópticos difractivos de una forma simple y económica y un elemento óptico difractivo según la reivindicación independiente 12 obtenido mediante el método de la invención.

El método de la invención comprende los siguientes pasos: (a) situar un substrato (6), que es transparente tanto a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico fabricado como a la radiación empleada en la fabricación, próximo a un material de partida (5), ambos ubicados en el interior de una cámara (1); (b) modular espacialmente una radiación proveniente de una fuente de radiación (4) según un patrón de difracción requerido; (c) irradiar el substrato (6) de forma que la radiación lo atraviese; (d) exponer el material de partida (5) a la radiación transmitida a través del substrato (6), de modo que al incidir la radiación sobre el material de partida (5) se produzca su evaporación o sublimación; (e) depositar la fase de vapor del material de partida (5) sobre el substrato (6); y (f) registrar en el material depositado una estructura difractiva durante el proceso de deposición irradiando el material depositado de forma concurrente a través del substrato (6) con la radiación modulada.

El aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos de la presente invención comprende: (a) una cámara (1) con al menos una ventana transparente; (b) un sistema de vacío; (c) una fuente de radiación luminosa; (d) un substrato (6) transparente tanto a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico fabricado como a la radiación de la fuente de radiación luminosa, estando localizado dicho substrato (6) en el trayecto óptico de la radiación procedente de la fuente de radiación luminosa; (e) medios de soporte mecánicos, ubicados en el interior de la cámara (1), que soportan el substrato (6) y que le confieren libertad para moverse en las tres direcciones cartesianas, x', y', z', así como rotar alrededor de un eje perpendicular a su superficie, θ', y alrededor de un eje paralelo a su superficie, φ'; (f) un material de partida (5), localizado en el trayecto óptico de la radiación transmitida a través del substrato (6) y situado suficientemente próximo al substrato (6) para que la fase de vapor generada por la irradiación se condense sobre el substrato (6); (g) medios de soporte mecánicos, ubicados en el interior de la cámara (1), que soportan el material de partida (5) y que le confieren libertad para moverse en las tres direcciones cartesianas, x, y, z, así como rotar alrededor de un eje perpendicular a su superficie, θ, de forma no solidaria con el substrato (6); y (h)

medios de modulación opto-mecánicos (7, 10), ubicados en el exterior de la cámara (1), que modulan la distribución espacial de la radiación luminosa incidente sobre el substrato (6) según el patrón difractivo requerido.

El elemento fabricado presenta funcionalidad óptica difractiva a causa de los cambios locales inducidos en su estructura, gobernados por la distribución de la intensidad luminosa empleada en el proceso de fabricación.

Son objetos de la presente invención:

a) proporcionar un método simple de fabricación de elementos ópticos con funcionalidad difractiva,

b) proporcionar un método y un aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos usando radiación luminosa,

c) proporcionar un método y un aparato para la fabricación de elementos ópticos que combinen funcionalidades refractivas y difractivas,

d) proporcionar un método y un aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos con extensión de su funcionalidad a altas intensidades luminosas,

e) proporcionar un método y un aparato para mejorar la estabilidad y alargar la vida de las estructuras ópticas con funcionalidad difractiva, creadas en medios semiconductores.

La Figura 4 ilustra un primer escenario preferido según el método propuesto para la fabricación de elementos ópticos que combinen funcionalidades refractivas y difractivas. Con referencia a esta figura, el sistema consta de una cámara (1) con ventanas transparentes (2) y (3), y una fuente de radiación luminosa (4), continua o pulsada, un material de partida (5), y un substrato (6) que es transparente a la radiación procedente de la fuente de radiación luminosa (4), y transparente también a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico que se pretende fabricar. La distribución espacial de la intensidad luminosa sobre el depósito es controlada mediante unos medios de modulación opto-mecánicos (7), que consisten en una combinación de elementos ópticos (lentes, espejos, filtros, divisores de haz, máscaras, moduladores espaciales de luz, de fase y de amplitud) y/o mecánicos (etapas de posicionamiento lineal, etapas de posicionamiento angular, moduladores espaciales de luz mecánicos) para modular espacialmente la radiación según el patrón difractivo requerido. En la Figura 3 se representa un conjunto de elementos ópticos que produce una modulación en la intensidad luminosa en la forma de placas zonales de Fresnel. Esta combinación de elementos sirve como ejemplo de los medios de modulación opto-mecánicos (7), (10), (13) y (16), indicados en las Figuras 4, 5, 6 y 7.

El método contempla la posibilidad de que sean varios los haces que emerjan de los medios de modulación opto-mecánicos (7), y que éstos interfieran sobre la zona del substrato donde se realizará el depósito, para registrar, por ejemplo, una red de Bragg, con control sobre el espaciado de la red a través del control del ángulo entre los haces interfirientes. El haz luminoso procedente de la fuente de radiación luminosa (4) (o haces, atendiendo a lo comentado) es introducido en la cámara a través de la ventana (2), y atraviesa el substrato (6) antes de incidir sobre el material de partida (5), para provocar su eyección. La generación de esta pluma puede estar asistida por calor a través de una fuente calefactora (8). La deposición puede estar también asistida térmicamente mediante el suministro de calor al substrato, de forma similar a la fuente calefactora (8) (no representado en la Figura 4). La deposición se realiza a presión y atmósfera controladas.

El material de partida (5), ubicado en el interior de la cámara puede ser un lingote de una aleación semiconductora, o una pastilla formada a partir del polvo de la aleación a depositar. La pastilla puede ser una mezcla homogénea o heterogénea de aleaciones semiconductoras que contengan algún elemento calcógeno (O, S, Se y/o Te) y otros reactivos, por ejemplo, Ge, Ga, Si, P, As, Sb, I, Pm, Sm, Eu, Er, que actúen como elementos tanto pasivos, como activos, para una determinada radiación luminosa. La aleación amorfa $As_{20}S_{80}$ constituye el material de partida usado en los ejemplos reales descritos en esta patente. El material de partida está soportado por medios de soporte mecánicos que le confieren libertad para moverse en las tres direcciones cartesianas, x, y, z, así como rotar alrededor de un eje perpendicular a su superficie, θ.

El substrato (6) está soportado por medios de soporte mecánicos que le confieren libertad para moverse en las tres direcciones cartesianas, x', y', z', así como rotar alrededor de un eje perpendicular a su superficie, θ', y alrededor de un eje paralelo a su superficie, φ', de forma no solidaria con el material de partida.

La Figura 5 ilustra un segundo escenario preferido según el método propuesto para la fabricación de elementos ópticos que combinen funcionalidades refractivas y difractivas. Con referencia a esta figura, y de forma similar a lo descrito en la Figura 4, el sistema consta de una cámara (1) con ventanas transparentes (2) y (3), una primera fuente de radiación luminosa (4), continua o pulsada, una segunda fuente de radiación luminosa (9), continua o pulsada, un material de partida (5), y un substrato (6) que es transparente a las radiaciones procedentes de las fuentes de radiación luminosa (4) y (9), y transparente también a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico que se pretende fabricar. El control de la distribución espacial de la intensidad de la radiaciones procedentes de las fuentes de radiación luminosa (4) y (9) se realiza mediante unos primeros (7) y unos segundos (10) medios de modulación opto-mecánicos, respectivamente, que consisten en combinaciones de elementos ópticos (lentes, espejos, filtros, divisores de haz, máscaras, moduladores espaciales de luz, de fase y de amplitud) y/o mecánicos (etapas de posicionamiento

lineal, etapas de posicionamiento angular, moduladores espaciales de luz mecánicos) para modular espacialmente la radiación según el patrón difractivo requerido. Como en el escenario comentado anteriormente, el método contempla la posibilidad de que sean varios los haces que surjan de los medios de modulación opto-mecánicos (7), (10). Los haces procedentes de las fuentes (4) y (9) se encaminan hacia el interior de la cámara, a través de la ventana (2), vía el divisor de haz (11), con direcciones de propagación coincidentes, u opcionalmente, con direcciones de propagación no coincidentes. Ambos haces luminosos procedentes de las fuentes (4) y (9) atraviesan el substrato (6), y al menos uno de ellos provoca la eyección del material de partida (5). La generación de la pluma puede estar asistida por calor a través de una fuente calefactora (8). La deposición puede estar también asistida térmicamente mediante el suministro de calor al substrato, de forma similar a la fuente calefactora (8) (no representado en la Figura 5). La deposición se realiza a presión y atmósfera controladas.

La Figura 6 ilustra un tercer escenario preferido según el método propuesto para la fabricación de elementos ópticos que combinen funcionalidades refractivas y difractivas. Con referencia a esta figura, y de forma similar a lo descrito en las Figuras 4 y 5, el sistema consta de una cámara (1) con ventanas transparentes (2) y (3), una fuente de radiación luminosa (4), continua o pulsada, una segunda fuente de radiación luminosa (12), continua o pulsada, un material de partida (5), y un substrato (6) que es transparente a la radiación procedente de la fuente de radiación luminosa (4), y transparente también a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico que se pretende fabricar. El control de la distribución espacial de la intensidad de la radiaciones procedentes de las fuentes (4) y (12) se realiza mediante medios de modulación opto-mecánicos, que consisten en combinaciones de elementos ópticos (lentes, espejos, filtros, divisores de haz, máscaras, moduladores espaciales de luz, de fase y de amplitud) y/o mecánicos (etapas de posicionamiento lineal, etapas de posicionamiento angular, moduladores espaciales de luz mecánicos) (7) y (13), respectivamente para modular espacialmente la radiación según el patrón difractivo requerido.

El haz procedente de la fuente (4) se introduce en la cámara a través de la ventana (2), y atraviesa el substrato (6) para irradiar el material que va a ser depositado. El haz procedente de la fuente (12) se introduce en la cámara a través de la ventana (3), vía el espejo (14), e incide sobre el material de partida para provocar su eyección. La generación de la pluma puede estar asistida por calor a través de una fuente calefactora (8). La deposición puede estar también asistida térmicamente mediante el suministro de calor al substrato, de forma similar a la fuente calefactora (8) (no representado en la Figura 6). La deposición se realiza a presión y atmósfera controladas.

La Figura 7 ilustra un cuarto escenario preferido según el método propuesto, más general, para la fabricación de elementos ópticos que combinen funcionalidades refractivas y difractivas. Con referencia a esta figura, y de forma similar a lo descrito en las Figuras 4, 5 y 6, el sistema consta de una cámara (1) con ventanas transparentes (2) y (3), primera (4) y segunda (9) fuentes de radiación luminosa, continuas o pulsadas, encargadas del registro de las estructuras difractivas, tercera (12) y cuarta (15) fuentes de radiación luminosa, continuas o pulsadas, encargadas de provocar la eyección del material de partida (5), y un substrato (6) que es transparente a las radiaciones procedentes de las fuentes (4) y (9), y transparente también a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico que se pretende fabricar. El control de la distribución espacial de la intensidad de la radiaciones procedentes de las fuentes (4), (9), (12) y (15) se realiza mediante medios de modulación opto-mecánicos (7), (10), (13) y (16), respectivamente, que consisten en combinaciones de elementos ópticos (lentes, espejos, filtros, divisores de haz, máscaras, moduladores espaciales de luz, de fase y de amplitud) y/o mecánicos (etapas de posicionamiento lineal, etapas de posicionamiento angular, moduladores espaciales de luz mecánicos) para modular espacialmente la radiación. Los haces procedentes de las fuentes (4) y (9) se encaminan hacia el interior de la cámara, a través de la ventana (2), vía el divisor de haz (11), con direcciones de propagación coincidentes, u opcionalmente, con direcciones de propagación no coincidentes. Los haces procedentes de las fuentes (12) y (15) se combinan mediante el divisor de haz (17), y se introducen en la cámara a través de la ventana (3), vía el espejo (14), e inciden sobre el material de partida para provocar su eyección. La generación de la pluma puede estar asistida por calor a través de una fuente calefactora (8). La deposición puede estar también asistida térmicamente mediante el suministro de calor al substrato, de forma similar a la fuente calefactora (8) (no representado en la Figura 7). La deposición se realiza a presión y atmósfera controladas.

En una realización posible el aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos dispone adicionalmente de un sistema de inyección de gases (p. ej., He, Ne, Ar, H_3As, H_2S, H_2Se), no representado en las Figuras.

A continuación se describe un escenario real con el fin de ilustrar el uso de la presente invención para la fabricación de una lente asférica que combina funcionalidades refractivas y difractivas, altamente transparente en el IR, y con alto umbral de daño. El haz es tratado según el montaje óptico ilustrado en la Figura 3. El material de partida (100), en este caso, es una pastilla circular de 13 mm de diámetro, formada con 125 mg del polvo compactado, durante 10 minutos y con una carga de 10 toneladas, de una aleación calcogenura amorfa de composición $As_{20}S_{80}$, que presenta un gap óptico de 2.1 eV. La presión en la cámara se reduce por debajo de 10^{-4} mbar. La radiación luminosa (300) procede de un generador láser continuo de Nd:YAG emitiendo a 532 nm (2.33 eV), con una potencia de 1.5 W. El haz es filtrado mediante un filtro espacial, y colimado con una lente de 150 mm de focal (no mostrados en la Figura 3). El haz se divide empleando un cubo divisor de haz (201). La sección de uno los haces emergentes (301) se reduce mediante la combinación de una lente (202) de 150 mm y otra lente (203) de 75 mm de distancia focal, y se emplean espejos (204) y (205) para encaminarlo. Este haz se enfoca mediante una lente (206) de 50 mm de focal, y se dirige a un segundo divisor de haz (207). La componente trasversal que resulta de la interacción del haz (301) con el cubo divisor (207), es colimada mediante una lente (208) de 50 mm de focal. Esta lente constituye la salida del montaje óptico antes de introducir la radiación resultante en la cámara. Por otro lado, el segundo haz (302) emergente del primer divisor de haz atraviesa un atenuador (209) para compensar las pérdidas que sufre el haz (301). El haz (302) atraviesa

el segundo divisor de haz (207) y es enfocado por la lente (208) de 50 mm de focal que se enfrenta a la cámara. El haz (302) induce mayormente la eyección del material de partida. El material eyectado de la superficie de la pastilla genera una distribución de la fase de vapor en forma de huso (pluma), que es perpendicular a la superficie irradiada de la pastilla. El substrato transparente (101) se ubica en la cámara perpendicular al eje óptico del montaje descrito, a 2 mm del material de partida, y es atravesado por la radiación generada a la salida de tal montaje. Sobre la cara del substrato enfrentada al material de partida, se condensa la fase de vapor de este material (102), presentando una distribución espacial asférica sobre su superficie. La actuación concurrente de la radiación luminosa, modulada según el patrón generado por la interferencia de los haces (301) y (302), sobre el depósito, produce un relieve superficial sobre la superficie asférica en la forma de placas zonales de Fresnel. No se descarta que, acompañando al relieve superficial observado, la radiación luminosa produzca cambios locales en el índice de refracción y/o el coeficiente de absorción en el material depositado. El elemento difractivo creado según el escenario descrito actuaria, en el caso de que no estuviera afectado por el perfil refractivo, como una lente difractiva de fase con una distancia focal de aproximadamente 25 mm.

Las condiciones del sistema pueden ajustarse para el depósito de un perfil de espesor tanto uniforme como variable, concentrado en una región localizada del substrato, o bien extendido de forma arbitraria sobre él. El área cubierta por el depósito y los perfiles de espesor pueden controlarse desplazando el haz luminoso sobre la superficie del material de partida y/o el substrato, vía los medios de soporte que confieren los grados de libertad x, y, z, θ, x', y', z', θ', φ', respectivamente, al material de partida, y al substrato, que aparecen esquematizados en las Figuras 4, 5, 6 y 7.

REIVINDICACIONES

1. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos **caracterizado** porque comprende las siguientes fases operativas:

(a) situar un substrato (6), que es transparente tanto a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico fabricado como a la radiación empleada en la fabricación, próximo a un material de partida (5), ambos ubicados en el interior de una cámara (1);

(b) modular espacialmente una radiación proveniente de una fuente de radiación (4) según un patrón de difracción requerido;

(c) irradiar el substrato (6) de forma que la radiación lo atraviese;

(d) exponer el material de partida (5) a la radiación transmitida a través del substrato (6), de modo que al incidir la radiación sobre el material de partida (5) se produzca su evaporación o sublimación;

(e) depositar la fase de vapor del material de partida (5) sobre el substrato (6);

(f) registrar en el material depositado una estructura difractiva durante el proceso de deposición irradiando el material depositado de forma concurrente a través del substrato (6) con la radiación modulada.

2. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicación 1, **caracterizado** porque la vaporización o sublimación del material de partida (5) se realiza por medios lumínicos.

3. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque las radiaciones luminosas implicadas en el proceso son continuas o pulsadas.

4. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque las radiaciones luminosas implicadas en el proceso son monocromáticas o policromáticas.

5. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque las radiaciones luminosas implicadas en el proceso son coherentes o incoherentes.

6. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque el material de partida (5) es un lingote o una pastilla formada a partir del polvo prensado del material a depositar.

7. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque el material de partida (5) puede ser una mezcla homogénea o heterogénea, de aleaciones semiconductoras que contengan algún elemento calcógeno (O, S, Se y/o Te) y otros reactivos, que actúen como elementos tanto pasivos, como activos, para una determinada radiación luminosa.

8. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque el proceso se realiza a presión y atmósfera controladas.

9. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque la fase de vapor o plasma presente en el proceso procede de la evaporación y/o sublimación del material de partida (5) mediante la acción conjunta del calentamiento y la radiación luminosa.

10. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque la temperatura del substrato (6) es diferente de la temperatura ambiente.

11. Método para la fabricación de elementos ópticos difractivos según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque las caras enfrentadas del material de partida (5) y el substrato (6) son paralelas.

12. Elemento óptico difractivo obtenido mediante el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

13. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos, que comprende:

(a) una cámara (1) con al menos una ventana transparente,

(b) un sistema de vacío,

(c) una fuente de radiación luminosa,

(d) un substrato (6) transparente tanto a la radiación de trabajo a la que va destinado el elemento óptico fabricado como a la radiación de la fuente de radiación luminosa, estando localizado dicho substrato (6) en el trayecto óptico de la radiación procedente de la fuente de radiación luminosa,

(e) medios de soporte mecánicos, ubicados en el interior de la cámara (1), que soportan el substrato (6) y que le confieren libertad para moverse en las tres direcciones cartesianas, x', y', z', así como rotar alrededor de un eje perpendicular a su superficie, θ', y alrededor de un eje paralelo a su superficie, φ',

(f) un material de partida (5), localizado en el trayecto óptico de la radiación transmitida a través del substrato (6) y situado suficientemente próximo al substrato (6) para que la fase de vapor generada por la irradiación se condense sobre el substrato (6),

(g) medios de soporte mecánicos, ubicados en el interior de la cámara (1), que soportan el material de partida (5) y que le confieren libertad para moverse en las tres direcciones cartesianas, x, y, z, así como rotar alrededor de un eje perpendicular a su superficie, θ, de forma no solidaria con el substrato (6),

(h) medios de modulación opto-mecánicos (7, 10), ubicados en el exterior de la cámara (1), que modulan la distribución espacial de la radiación luminosa incidente sobre el substrato (6) según el patrón difractivo requerido.

14. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos, según reivindicación 13, **caracterizado** porque dispone de un sistema de inyección de gases.

15. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicación 13, **caracterizado** porque dispone de una fuente calefactora para el material de partida (5).

16. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicación 13, **caracterizado** porque dispone de una fuente calefactora para el substrato (6).

17. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 13 a 16, **caracterizado** porque dispone de fuentes de radiación luminosa adicionales para producir la eyección del material de partida (5).

18. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 13 a 16, **caracterizado** porque dispone de fuentes de radiación luminosa adicionales para el registro de las estructuras difractivas.

19. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 17 o 18, **caracterizado** porque las radiaciones luminosas presentes en el proceso son iguales en su coherencia, cromaticidad, y carácter temporal (pulsado o continuo).

20. Aparato para la fabricación de elementos ópticos difractivos según reivindicaciones 17 o 18, **caracterizado** porque las radiaciones luminosas presentes en el proceso son diferentes en su dirección de propagación, intensidad, coherencia, cromaticidad, o carácter temporal (pulsado o continuo).

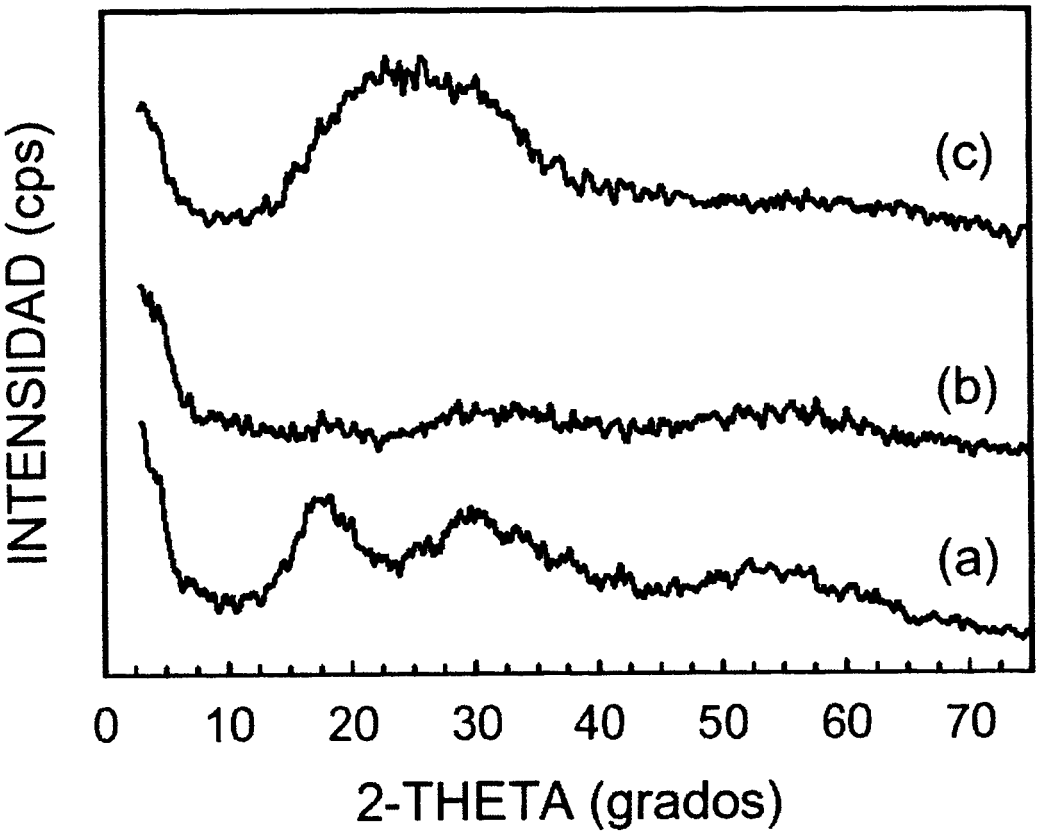

Fig. 1

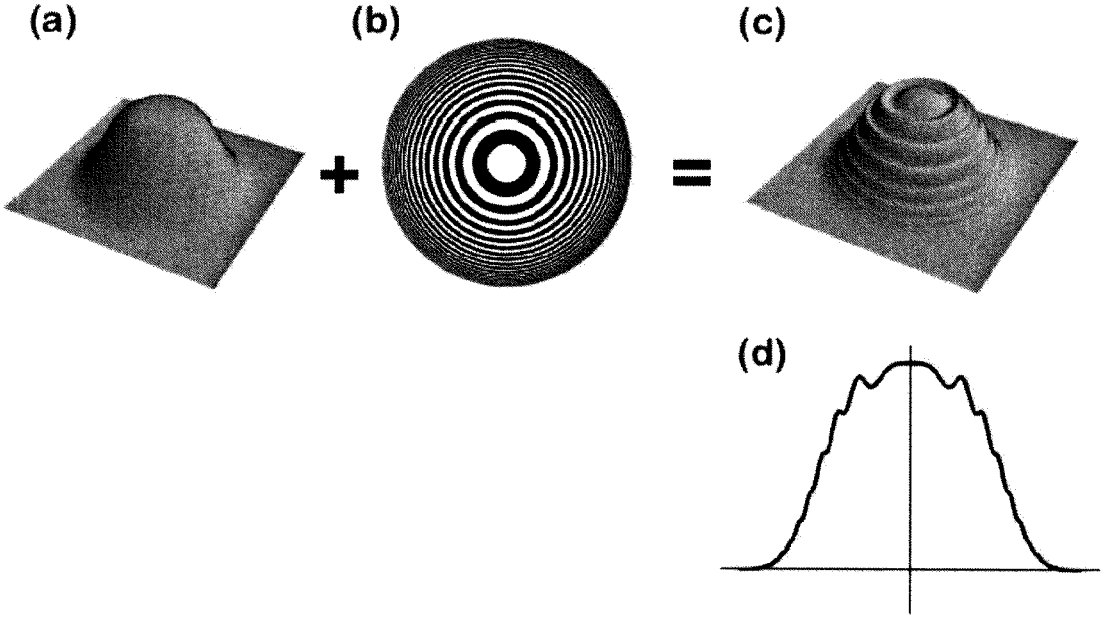

Fig. 2

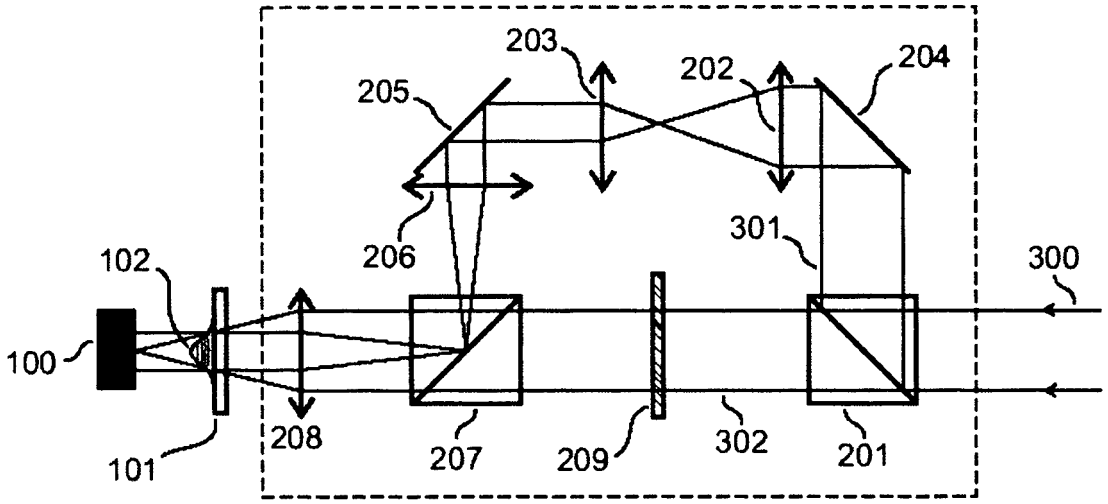

Fig. 3

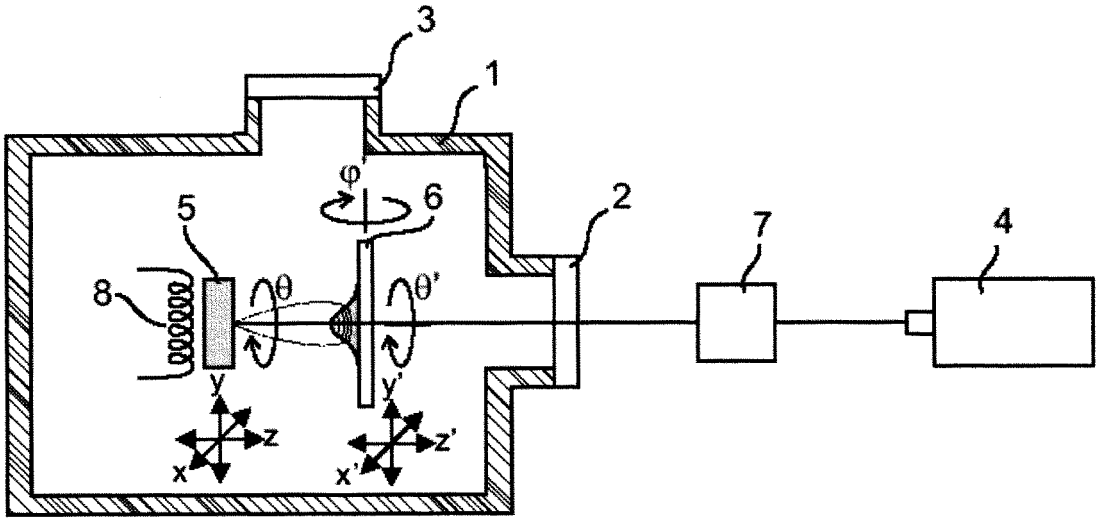

Fig. 4

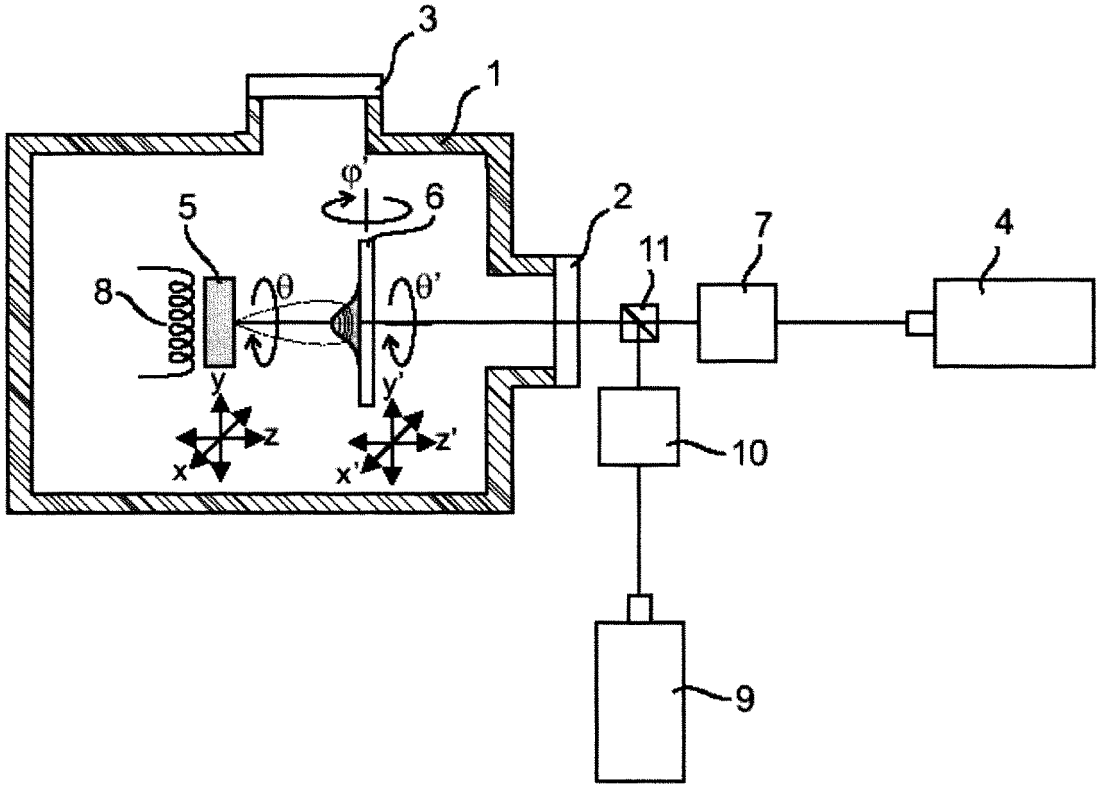

Fig. 5

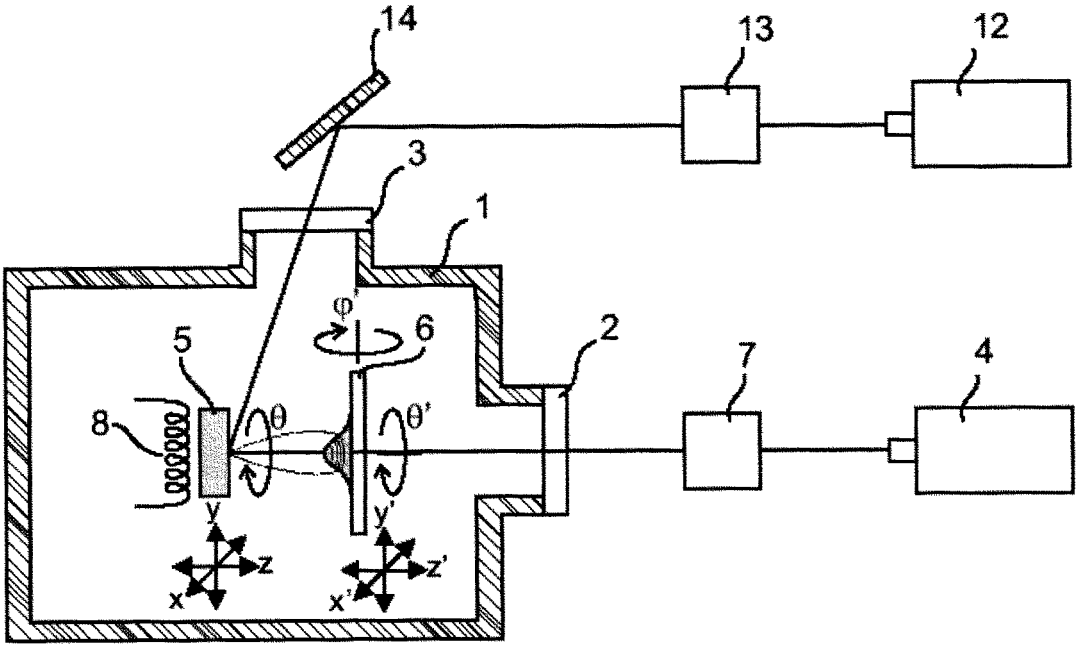

Fig. 6

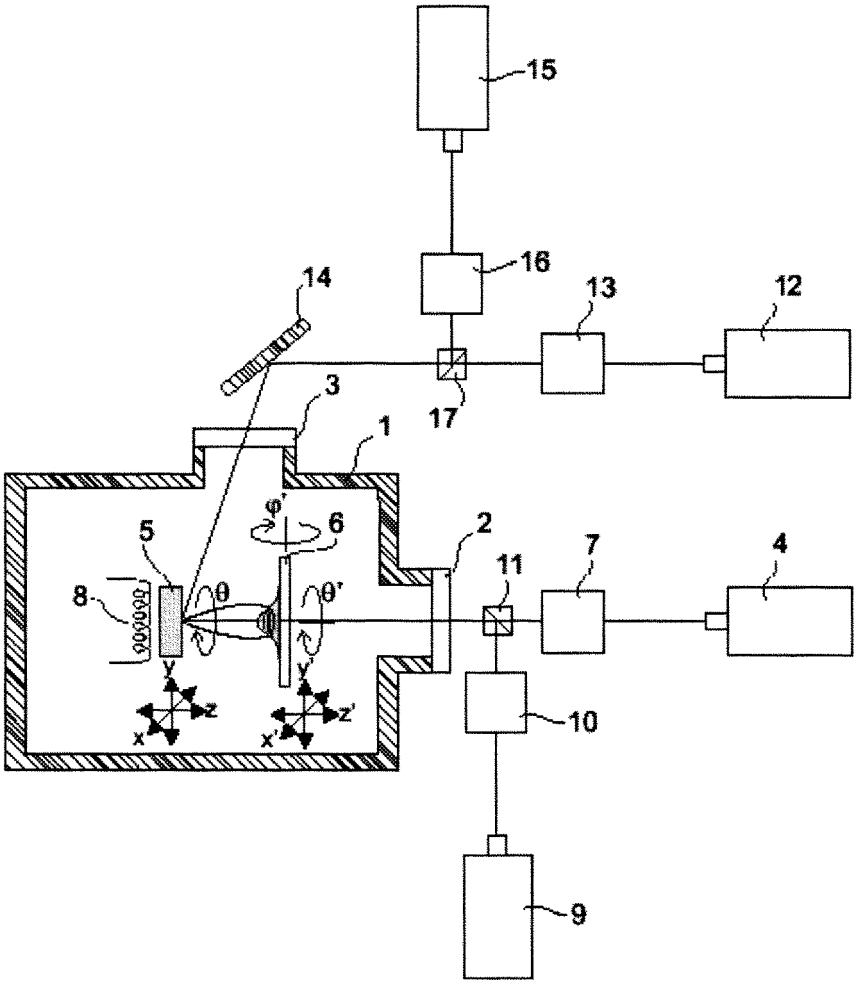

Fig. 7

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) ES 2 325 894

(21) Nº de solicitud: 200600446

(22) Fecha de presentación de la solicitud: **24.02.2006**

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

(51) **Int. Cl.:** ***C23C 14/02*** (2006.01)
C23C 14/34 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 5173441 A (YU, C. et al.) 22.12.1992, todo el documento.	1-5, 8-12
Y		13-20
A		6, 7
A	GB 2300001 A (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) 23.10.1996, todo el documento.	1-5, 8, 9
Y		13-20
A	US 5760366 A (HARUTA, K. et al.) 02.06.1998, resumen; columna 1, línea 1 - columna 4, línea 48; columna 10, líneas 20-63; columna 12, líneas 55-67; columna 23, línea 25 - columna 25, línea 22; columna 28, línea 54 - columna 31, línea 57; columna 33, línea 18 - columna 34, línea 11; columna 74, línea 43 - columna 75, línea 20; figuras 1-14, 20-28, 32 y 44.	1-5, 8-10, 13, 16, 17
A	BASE DE DATOS WPIL en QUESTEL, JP 4045263 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 14.02.1992, resumen; figuras.	1, 2, 8, 13, 14, 16
A	WO 00/44960 A1 (THE UNITED STATES OF AMERICA) 03.08.2000, todo el documento.	1-7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica
O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe	Examinador	Página
08.09.2009	O. González Peñalba	1/1