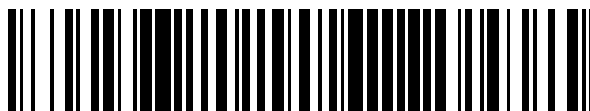


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 522 267**

51 Int. Cl.:

H01J 37/32 (2006.01)

C23C 16/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2011** **E 11781429 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.09.2014** **EP 2593959**

54 Título: **Electrodo para la generación de un plasma, cámara de plasma con este electrodo y procedimiento para el análisis in situ o procesamiento in situ de una capa o de un plasma**

30 Prioridad:

15.07.2010 DE 102010027224

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

14.11.2014

73 Titular/es:

**FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH (100.0%)
52425 Jülich, DE**

72 Inventor/es:

**MUTHMANN, STEFAN;
GORDIJN, AAD;
CARIUS, REINHARD;
HÜLSBECK, MARKUS y
HRUNSKI, DZMITRY**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 522 267 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

Electrodo para la generación de un plasma, cámara de plasma con este electrodo y procedimiento para el análisis in situ o procesamiento in situ de una capa o de un plasma

5 La invención se refiere a un electrodo para la generación de un plasma, a una cámara de plasma con este electrodo y a un procedimiento para el análisis in situ o el procedimiento in situ de una capa o de un plasma.

Se conoce a partir de Li y col. (Li, Y. M., Ilin, A. N., Ngyuen H. V., Wronski C. R., Collins R. W. (1991). Real-Time-Spectroscopy Ellipsometry Determination of the Evolution of Amorphous-semiconductor Optical Functions, Bandgap, and Microstructure. Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 137, 787-790) la caracterización in situ de una capa amorfa durante la separación química de fases de gas asistida por plasma (en inglés, Plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD). Como procedimiento, los autores utilizan una elipsometría espectroscópica bajo radiación de luz en el ángulo de 70°. Un inconveniente es que con el procedimiento y del elipsómetro empleado solamente es posible una manifestación comparativamente reducida sobre las propiedades de la capa.

10 Wagner y col. (Wagner V., Drews, D., Esser, D. R., Zahn, T., Geurts, J., y W. Richer. Raman monitoring of semiconductor growth. J. Appl. Phys. 75, 7330) describen una espectroscopia Raman in situ en una capa separada con epitaxia de radiación molecular. El procedimiento y la estructura del dispositivo utilizado presentan el inconveniente de que éstos no se pueden emplear independientemente del tipo de procedimiento de separación utilizado.

20 Se conoce a partir de Dingemans y col. (Dingemans, G., van den Donker, M. N.; Hrunski, D.; Gordijn, A.; Kessels, W. M. M.; van de Sanden, M. C. M. (2007). In-Situ Film Transmittance Using the Plasma as Light Source: A case Study of Thin Silicon Film Deposition in the Microcrystalline Growth Regime. Proceedings of the 22nd EUPVSEC (European Photovoltaic Solar Energy Conference), Milán/Italia, 03.09.2007, - Páginas 1855 – 1858) realizar una espectroscopia de emisión óptica en el plasma de una cámara de plasma in situ. A tal fin, en el contra electrodo de la cámara de plasma está presente un orificio de paso, con el que el plasma se puede investigar directamente a través del sustrato. Es un inconveniente también que este dispositivo no es adecuado para acumular informaciones amplias sobre el procedimiento.

25 Se conoce a partir del documento US 2006/196848 A1 un rf-electrodo para la generación de un plasma en una cámara de plasma, que está equipada con al menos un orificio de paso óptico, siendo el rf-electrodo una ducha de gas.

30 Se conoce a partir del documento US 2005/029228 A1 un sistema de detección óptica, que está integrado en un electrodo y presenta un orificio de paso cilíndrico.

Se conoce a partir del documento WO 2007/022144 A1 un dispositivo para la mejora de la exploración óptica por un proceso de plasma a través de la utilización de un sensor de fibra óptica en una ducha de gas. La luz es detectada a través de un orificio de la ducha de gas. No se publican una protección especial o una configuración especial del orificio para la protección de los elementos ópticos.

35 Se conoce a partir del documento US 2004/0118518 un sistema de detección óptica, que está integrado de la misma manera en una ducha de gas. Para evitar descargas locales no deseadas en el orificio para la medición óptica, están presentes en la zona del orificio de paso óptico una pluralidad de talados pequeños.

40 El cometido de la invención es preparar un electrodo para la generación de un plasma en una cámara de plasma, que se puede utilizar universalmente tanto independientemente del procedimiento de separación utilizado, como por ejemplo PECVD, MOVPE, como también independientemente del método de investigación seleccionado, como por ejemplo la espectroscopia Raman y la espectroscopia de emisión óptica.

Otro cometido de la invención es preparar una cámara de plasma, con la que independientemente del procedimiento de fabricación de la capa se posibilita una pluralidad de métodos de investigación in situ.

45 Otro cometido de la invención es indicar un procedimiento, con el que se puede realizar in situ el análisis de una capa a separar como también de los gases del proceso durante el procedimiento de fabricación en curso.

El cometido se soluciona por medio de un rf-electrodo de acuerdo con la reivindicación principal, por medio de una cámara de plasma con un electrodo de este tipo y por medio de un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones dependientes. Las configuraciones ventajosas se deducen a partir de las reivindicaciones dependientes respectivas.

50 De acuerdo con la invención se trata de un rf-electrodo para la generación del plasma por medio de una tensión de alta frecuencia. El plasma se puede utilizar, por ejemplo, para la separación de capas de semiconductores o para el decapado con plasma de capas de semiconductores. En el primer caso, se conducen gases como SiH₄ o H₂ y en el

segundo caso se conduce un gas como NF_3 a la cámara.

El rf-electrodo se caracteriza de acuerdo con la invención por que comprende un orificio de paso óptico. La orificio de paso óptico concede de manera ventajosa un acceso óptico tanto al espacio de plasma propiamente dicho, como también a través del espacio de plasma hasta el sustrato, que está dispuesto sobre el contra electrodo (llamado también electrodo de masa). De esta manera se garantiza el paso de una trayectoria de rayos a través del orificio de paso óptico del rf-electrodo de acuerdo con la invención. De este modo se provoca de manera ventajosa que se posibilite tanto el análisis como también el procesamiento del sustrato y de la capa crecida encima durante la combustión del plasma. De manera especialmente ventajosa, a través de la disposición del orificio de paso óptico en el rf-electrodo se provoca que en la cámara de plasma sea investigado también el plasma propiamente dicho con respecto a la composición del gas y ésta se pueda reajustar.

De esta manera se consigue una libertad amplia en la selección el método de investigación y del método de procesamiento.

Se ha reconocido en el marco de la invención que el estado de la técnica es limitado tanto en lo que se refiere a la disposición de un orificio de paso óptico en el contra electrodo en Dingemans y vol. como también con respecto a los procedimientos de investigación aplicados en Li y col., así como en el procedimiento de separación de Wagner y col. Solamente el rf-electrodo de acuerdo con la invención garantiza más o menos que en cada procedimiento de separación (PECVD, MOVPE y otros) se posibiliten las más diferentes etapas de investigación o de procesamiento de la capa así como también del plasma. El procedimiento de acuerdo con la invención utiliza a través del recurso al rf-electrodo de acuerdo con la invención tanto para la entrada en el espacio de plasma como también para la salida de radiación electromagnética, un ángulo de incidencia de aproximadamente cero grados con respecto a la capa a separar. De esta manera se consigue de forma ventajosa que se pueda realizar también la espectroscopia Raman n una capa en crecimiento o la espectroscopia de emisión óptica resuelta localmente en el plasma durante la combustión del plasma (in situ). El procesamiento de la capa puede comprender una etapa de procesamiento con un láser.

De manera especialmente ventajosa, a través del orificio de paso óptico en el rf-electrodo se consigue que se posibilite una observación directa de una capa a través del acoplamiento y desacoplamiento de la luz con un ángulo de incidencia de aproximadamente cero grado con respecto a la capa. También son concebibles desviaciones reducidas del ángulo de incidencia de cero grados.

En cambio, en el estado de la técnica se irradia en el ángulo de 70° con respecto a la capa de la trayectoria de los rayos para el análisis de la capa. Esto tiene el inconveniente de que no se tiene en consideración una gran parte del espacio de separación en la cámara de plasma y se analiza e interpreta también de forma errónea. En el marco de la invención se ha reconocido que esta forma de análisis in situ suministraba resultados erróneos durante la interpretación de la propiedad de la capa o de la propiedad del plasma.

Además se ha reconocido que sobre todo en el caso de distancias pequeñas de los electrodos con relación a la superficie de los electrodos, solamente el análisis de una zona marginal de la capa o, en cambio, solamente bajo un ángulo determinado, se podía analizar también la parte relevante para la producción. Muchas investigaciones, como la espectroscopia Raman, se puede realizar en el estado de la técnica como en Dingemans y col., pero solamente después de la separación. Con zona marginal de la capa se designa la parte de la capa en crecimiento, que se encuentra fuera de la zona útil óptima del electrodo, o bien que es irrelevante para la aplicación posterior de la capa. De esta manera, determinados métodos de medición, como por ejemplo la espectroscopia Raman o la espectroscopia de reflexión, se excluyen como procedimientos especialmente productivos para la caracterización de una capa separada en tiempo real, es decir, todavía durante la separación. El concepto in situ de la presente solicitud de patente significa, por lo tanto, el análisis o procesamiento del sustrato o de una capa dispuesta en cima o a separar, durante la combustión del plasma, es decir, en tiempo real.

En oposición al estado de la técnica, con el rf-electrodo de acuerdo con la invención se pueden analizar y procesar también zonas relevantes para la producción de la capa en tiempo real, y no sólo las zonas marginales.

Como análisis se aplica especialmente la espectroscopia Raman in situ. A través del acoplamiento de un rayo láser impulsado a través del orificio de paso óptico del rf-electrodo sobre la capa y a través de espectroscopia de la luz dispersa en la reflexión de retorno directa se puede realizar una separación, por ejemplo de material para una célula solar de capa fina, una espectroscopia Raman. De esta manera es posible supervisar mejor el crecimiento y las propiedades estructurales de la capa durante la separación.

Como análisis se aplica también la espectroscopia de emisión resuelta localmente. Con la ayuda de una estructura confocal con lente dispuesta fijamente o desplazable en la trayectoria de los rayos, se pueden resolver emisiones de plasma sobre una superficie de silicio en crecimiento, es decir, que se pueden someter a espectroscopia a diferentes distancias de la superficie de la capa. La lente se puede disponer fijamente en el rf-electrodo. Pero la lente se puede fijar también en la carcasa de la cámara de plasma. Pero la lente se puede disponer también desplazable en la carcasa, de manera que se consigue un espacio de medición confocal para diferentes aplicaciones. También se

pueden aplicar otros procedimientos como la espectroscopia de reflexión. Además, para la misma finalidad se puede disponer el rf-electrodo con lente fijada en él en la trayectoria de los rayos del espacio de medición de forma desplazable con respecto a la capa a investigar.

El orificio de paso óptico se extiende a través del rf-electrodo desde un lado de la superficie sobre el lado del rf-electrodo opuesto a este lado. Con el orificio de paso se entiende en el sentido de la invención, por lo tanto, un orificio a través de la construcción el electrodo, que garantiza el paso de radiación electromagnética, en particular radiación láser para la exploración en la dirección de la capa en crecimiento. El orificio de paso óptico garantiza, por otra parte, el paso de la radiación que parte desde la capa o desde el plasma (por ejemplo, reflexión, dispersión o radiación térmica) de retorno a un aparato de análisis. También se garantizan mediciones de la temperatura de la capa. El electrodo con el orificio de paso óptico está dispuesto de acuerdo con ello en la trayectoria de los rayos de la radiación acoplada en la cámara de plasma.

El electrodo está integrado de manera especialmente ventajosa en una cámara de plasma, en la que se puede generar un vacío. El electrodo está aislado eléctricamente desde la pared de la cámara. El rf-electrodo está provisto con una posibilidad de conexión para una frecuencia alta de tensión alterna (rf-conexión: 30 kHz-300 GHz oscilación, con preferencia 13,56 MHz a 108,48 MHz). La tensión alterna de un rf-generador se aplica en la placa metálica como electrodo, que se encuentra en una cámara de baja presión. Paralelamente al rf-electrodo y frente a éste está dispuesto el contra electrodo con el soporte del sustrato.

La cámara de vacío contiene de manera ventajosa una ventana como un orificio de paso óptico en su pared, a través de cuya ventana se puede acoplar y desacoplar de nuevo la radiación electromagnética.

La radiación desacoplada desde la cámara de plasma se conduce de manera ventajosa a través del sistema de lentes y dado el caso también del sistema de espejos y se enfoca sobre al intersticio de entrada de un espectrógrafo, como por ejemplo un Oriel Instruments MS260. Con la ayuda el espectrógrafo se descompone la radiación en sus componentes espectroscópicos, que son analizados con una cámara CCD, por ejemplo con una Andor iDus 420. En el caso de una espectroscopia Raman, en la trayectoria óptica desde la superficie del sustrato hasta el espectroscopio está dispuesto un filtro estriado óptico. El filtro estriado provoca de manera ventajosa que se suprima la longitud de onda utilizada para la excitación de la dispersión Raman con anchura de banda muy estrecha.

El acceso óptico a la capa o bien al plasma a través de la capa es en el caso más sencillo un taladro, con preferencia en el centro o en la proximidad del centro del rf-electrodo, de manera que se pueden analizar o procesar las partes del sustrato o bien de la capa a separar que son relevantes para la producción. Tampoco esto es posible con electrodos de acuerdo con el estado de la técnica.

El rf-electrodo presenta de manera especialmente ventajosa un orificio de paso óptico, que está blindado dirigido hacia la cámara de plasma. El blindaje se realiza con preferencia con una rejilla metálica, que está dispuesta sobre la abertura el orificio de paso óptico. De esta manera se consigue de forma ventajosa que no se perturbe el campo eléctrico generado por el electrodo.

En el marco de la invención se ha reconocido que el orificio de paso óptico, en función de los parámetros el procedimiento de separación utilizado puede conducir a inhomogeneidades en la separación de la capa o durante un decapado químico en virtud de un campo eléctrico perturbado. Por lo tanto, el orificio de paso óptico del rf-electrodo ha sido blindado hacia el espacio del plasma, con preferencia a través de una rejilla metálica, de tal manera que es posible un acceso óptico con pérdidas pequeñas. De esta manera se consigue de forma ventajosa que el campo de alta frecuencia generado por las placas de electrodos no esté influenciado en la mayor medida posible por el orificio de paso óptico.

Esto se aplica especialmente para el caso especialmente ventajoso de que el orificio de paso óptico sea componente de un electrodo de ducha de gas como rf-electrodo (en inglés Showerhead-Elektrode).

En este caso, el orificio de paso óptico está integrado en el electrodo de ducha de gas con rf-electrodo, de manera que no se perturba la homogeneidad de la distribución del gas. Esto se consigue a través de la selección de un lugar estable para el orificio de paso óptico, en el que solamente pocos o en el mejor de los casos incluso ninguno de los talaros para el paso del gas son influenciados por el orificio de paso óptico.

El orificio de paso óptico y la rejilla metálica como blindaje pueden estar constituidos el mismo material, por ejemplo de acero-VA o de aluminio.

La rejilla como blindaje se puede fabricar con preferencia a través de cortes con rayo láser. El espesor de las nervaduras de la rejilla puede tener aproximadamente 0,3 mm y la anchura de las nervaduras puede tener, por ejemplo, aproximadamente 0,1 mm. La abertura del orificio de paso óptico puede estar cubierta con preferencia hasta 12 a 19 % por las nervaduras el blindaje. Una cobertura de la abertura a través del blindaje de hasta 10% debería ser suficiente para obtener la homogeneidad del plasma. Un blindaje óptimo se obtendría también a través de una placa metálica, a través de la cual no son posibles evidentemente análisis o etapas de procesamiento del

- 5 sustrato o el plasma. También con menos del 10 % de superficie cubierta de la abertura del orificio de paso óptico es posible, en principio, un blindaje. La cobertura porcentual exacta de la abertura del orificio de paso eléctrico a través del blindaje depende de las condiciones del proceso, por ejemplo de la presión empleada en la cámara de plasma. Con una presión de > 18 Torr, una distancia de los electrodos de 9 mm, una densidad de potencia de $\sim 1 \text{ W/cm}^2$ y una tasa de crecimiento de 0,5 nm/s, durante la separación de silicio microcristalino, con un diámetro del taladro dirigido hacia el sustrato de 1 cm, no es necesario ningún blindaje en absoluto del orificio de paso óptico.
- 10 Con una presión de 10 Torr, una distancia de los electrodos de 9 mm, una densidad de potencia de $0,6 \text{ W/cm}^2$ y una tasa de crecimiento de 0,5 nm/s, en el caso de una separación de silicio microcristalino, con un diámetro del taladro dirigido hacia el sustrato de 1 cm, debería estar cubierto aproximadamente el 10 % de la abertura del orificio de paso óptico a través del blindaje.
- En la cámara de plasma de acuerdo con la invención, en el caso de un blindaje, está blindada la abertura del orificio de paso óptico que está dirigida hacia la zona de separación. Como cámara de plasma se designa normalmente toda la cámara de vacío.
- 15 El orificio de paso óptico debe ser, en general, tan grande que se posibilita a través del electrodo de acuerdo con la invención el procedimiento de investigación pretendido. Éste puede ser, por ejemplo, una espectroscopia Raman in situ o una espectroscopia de emisión óptica o, por ejemplo, la determinación de las concentraciones de gas en la trayectoria óptica. El área del orificio de paso óptico debería ser aproximadamente al menos $0,03 \text{ cm}^2$. En el caso de orificios de paso ópticos redondos circulares, esto corresponde a un diámetro de la abertura dirigida hacia la zona de separación de más de 2 mm. Con preferencia, la abertura presenta un área de 1 a 10 cm^2 .
- 20 Una lente puede estar dispuesta en el rf-electrodo o, en general, en la cámara de plasma. La lente debe enfocar para un procedimiento de acuerdo con la invención la radiación electromagnética a través del orificio de paso óptico sobre el plasma o la capa o bien el sustrato. La misma lente o, de acuerdo con el ángulo de incidencia de la radiación, una lente de otro orificio de paso óptico en el rf-electrodo paraleliza la radiación reflejada o dispersada o emitida por el sustrato o por el plasma a través del orificio de paso óptico.
- 25 Con preferencia, el ángulo de incidencia de la radiación electromagnética sobre el sustrato o bien la capa es cero grados. Una desviación reducida de ella es posible, de manera que para el acceso a la parte relevante para la producción de la capa o bien de la zona de descarga es posible un ángulo de incidencia más pequeño que en el caso de un acceso a través del espacio lateralmente entre los electrodos.
- 30 El tamaño del orificio de paso óptico no se puede confundir de ninguna manera con el tamaño de las aberturas de los taladros en un electrodo de ducha de gas de acuerdo con el estado de la técnica y, por lo tanto, tampoco debe compararse con él. Éstos tienen normalmente un diámetro de sólo aproximadamente 0,8 mm que corresponde aproximadamente a $0,005 \text{ cm}^2$ de área. Estos orificios de acuerdo con el estado de la técnica son inadecuados para un análisis o procesamiento de acuerdo con la invención de la capa o del plasma por vía óptica.
- 35 El orificio de paso óptico pasa totalmente a través del electrodo. De esta manera, el electrodo presenta una primera abertura sobre uno de los lados de la superficie y una segunda abertura sobre la superficie del electrodo opuesta a esta superficie. Ambas aberturas del orificio de paso óptico pueden presentar el mismo diámetro. Entonces el electrodo de acuerdo con la invención se puede fabricar de una manera especialmente sencilla.
- 40 El orificio de paso óptico presenta una sección cónica. En el orificio de paso óptico, la abertura dirigida hacia el espacio del plasma presenta un área mayor que la abertura opuesta a esta abertura del orificio de paso óptico. Entonces es especialmente ventajoso que se puede acumular de una manera más eficiente radiación electromagnética que parte desde la capa o el plasma y se puede alimentar al aparato de análisis.
- 45 Se ha reconocido que en el caso más sencillo, el orificio de paso óptico se puede realizar a través de un único taladro, por ejemplo de forma cilíndrica en el electrodo. Por ejemplo se puede perforar el rf-electrodo con una taladradora de 10 mm. Pero también es posible practicar en su lugar con una avellanadora un orificio de paso cónico en el rf-electrodo.
- La más pequeña de las dos aberturas de un orificio de paso óptico cónico puede presentar un área de $0,03 \text{ cm}^2$ a 5 cm^2 . La mayor de las dos aberturas del orificio de paso óptico cónico puede presentar un área de $0,031$ a 100 cm^2 . Especialmente ventajosa es el área de la abertura mayor el orificio de paso óptico hasta 20 veces mayor.
- 50 En general, el tamaño de la abertura, que está alejada del sustrato, depende con un ángulo dado del cono del espesor del electrodo de acuerdo con la invención.
- De manera ventajosa, a través del orificio de paso óptico no circula ningún gas o tanto gas como desde un área de la misma magnitud de un electrodo de ducha de gas no modificado en el espacio de plasma. Con ello se consigue de manera ventajosa que no se perturbe la homogeneidad del flujo de gas a través del orificio de paso óptico.

Un orificio de paso óptico se puede configurar adicionalmente a un taladro sencillo en el electrodo a través de un componente. Este reviste el taladro en el electrodo de modo de casquillo. En una disposición de ducha de gas como rf-electrodo, están colocada superpuestas, por ejemplo, tres placas de distribución de gas de diferentes diámetros, como se muestra, por ejemplo, en la figura 2. Éstas configuran la ducha de gas de acuerdo con la invención como rf-electrodo. En las tres placas de distribución de gas está dispuesto, respectivamente, un taladro de diferente tamaño para la configuración del orificio de paso óptico. Éstas están colocadas superpuestas en el electrodo, de manera que se forma un orificio de paso óptico cónico. En la ducha de gas está dispuesto adicionalmente un componente cónico en forma de embudo para la configuración del orificio de paso óptico cónico. Este componente reviste el orificio de paso óptico desde el interior. El embudo presenta a tal fin unas superficies de apoyo escalonadas para las placas de distribución de gas. Unos medios de retención, como tornillos, fijan la(s) placa(s) en el embudo. A través de la pared del componente en forma de embudo se impide de manera ventajosa una corriente de entrada de gas en el espacio del plasma a través de la alimentación óptica. El embudo proporciona aquí la estanqueidad al gas del orificio de paso óptico.

También aquí, en función de los parámetros del procedimiento de separación, puede estar dispuesta una rejilla metálica como blindaje sobre la abertura más pequeña del componente en forma de embudo.

En otra configuración de la invención, en el orificio de paso óptico del rf-electrodo está dispuesta fijamente una lente colectora cóncava plana. Ésta provoca de manera ventajosa que para fines de análisis o para fines de procesamiento se conduzca la trayectoria de los rayos electromagnéticos a través del orificio de paso óptico sobre el sustrato o bien sobre la capa en crecimiento o en el plasma y se enfoque su superficie. De esta manera, es posible provocar a través de la entrada alta de energía de un láser impulsado una emisión Raman del sustrato o bien de la capa y de este modo realizar una espectroscopia Raman en la radiación rechazada. Además, se puede acumular y en formar y también paralelizar la luz o, en general, la radiación electromagnética con la ayuda de la lente.

La lente se puede disponer entonces sobre el lado del orificio de paso óptico no alineado con respecto al espacio del plasma. En el caso de un blindaje existente adicionalmente, la lente está dispuesta de manera correspondiente sobre un lado de la abertura, que está opuesta al blindaje.

De manera especialmente ventajosa, entre la lente colectora y la abertura del orificio de paso óptico está dispuesta una plaquita de vidrio sustituible para la protección de la lente colectora. De esta manera se provoca de forma ventajosa que la lente no sea cubierta durante la combustión del plasma. De este modo se consigue de forma ventajosa que en el caso de una limpieza de la cámara no deba desmontarse la lente. De esta manera, no debe ajustarse de nuevo la óptica de forma ventajosa después de la limpieza.

Una cámara de plasma de acuerdo con la invención comprende el rf-electrodo con uno o varios orificios de paso ópticos y con una rf-conexión de alta frecuencia.

En la cámara está dispuesto un contra electrodo puesto a tierra o en suspensión con un sustrato dispuesto encima. Entre el electrodo y el contra electrodo se configura un campo alterno de alta frecuencia para la generación del plasma. La cámara presenta de acuerdo con la invención el rf-electrodo con el orificio de paso óptico. De esta manera se consigue de forma ventajosa que se pueda dirigir radiación electromagnética a través del orificio de paso óptico sobre el sustrato o bien sobre la capa en crecimiento sobre el mismo o en el plasma propiamente dicho. De esta manera, el sustrato, la capa o la composición del gas en la cámara se puede investigar durante la separación y durante la combustión del plasma.

La abertura del orificio de paso óptico dirigida hacia el interior de la cámara de plasma está blindada de manera ventajosa de tal forma que se genera una separación o decapado químico especialmente homogéneos de la capa dispuesta sobre el sustrato.

Una lente colectora convexa sobre el lado del orificio de paso óptico dirigido hacia la cámara de plasma enfoca la trayectoria de los rayos sobre el sustrato o bien sobre la capa en crecimiento sobre el sustrato o sobre el plasma propiamente dicho. La lente acumula, enfoca y paraleliza la radiación reflejada o dispersada o que parte desde la superficie de la muestra de la capa con la finalidad del análisis. Esto significa que la radiación reflejada o dispersada o emitida por la capa sea acumulada de nuevo a través del orificio de paso óptico sobre la vía de retorno y sea conducida fuera de la cámara de plasma.

El rf-electrodo de acuerdo con la invención y la cámara de acuerdo con la invención posibilitan en el sentido de una idea unitaria, por lo tanto, un procedimiento para el análisis in situ o para el procesamiento in situ de una capa en la cámara de plasma así como también del plasma, durante la combustión de éste. El sustrato está dispuesto sobre el contra electrodo.

Sobre el lado dirigido hacia el sustrato se dispone el rf-electrodo a una distancia X del sustrato. Los gases del proceso utilizados para la separación o el decapado químico son introducidos y la presión del proceso es ajustada. A continuación se pone en marcha el plasma.

Para el procedimiento se selecciona en una configuración de la invención un electrodo con un orificio de paso óptico, que presenta un blindaje sobre el lado del electrodo que está dirigido hacia el sustrato. De manera especialmente ventajosa se dispone una lente colectora cóncava plana sobre el lado del electrodo que está opuesto al blindaje.

Con preferencia, se selecciona una lente colectora, que presenta una distancia focal X más el espesor del electrodo. De esta manera se consigue de forma ventajosa que una trayectoria de los rayos que pasa a través del orificio de paso óptico sea enfocada sobre el sustrato. La radiación reflejada o dispersa o emitida por la superficie de la capa es acumulada, en cambio, por la lente y es conducida paralelizada desde la cámara. Con esta finalidad, la radiación reflejada o dispersada o emitida por la superficie de la capa es conducida en primer lugar sobre un espejo de acuerdo con la estructura del dispositivo de análisis y la oferta de espacio.

De manera especialmente preferida, la cámara de plasma está provista con una capacidad de regulación de la lente colectora a lo largo de la trayectoria de los rayos. A tal fin, la lente está fijada de forma desplazable en la carcasa de la cámara de plasma. Se selecciona una cámara de plasma con un soporte de fijación que está fijado de forma regulable en la altura en el electrodo. La lente puede estar fijada también en el rf-electrodo y el electrodo propiamente dicho es desplazable. Con ambas estructuras se consigue de manera ventajosa que se pueden someter a espectroscopia de manera variable diferentes zonas entre el rf-electrodo y la capa así como la capa como también el plasma propiamente dicho. La capacidad de regulación de la altura se puede garantizar por medio de un tornillo en un taladro alargado.

De esta manera se puede adaptar el sistema durante el procedimiento a diferentes distancias de lentes y electrodos. Además, de esta manera se posibilita la investigación de la capa en crecimiento como también el plasma. Pero es evidentemente que para el procedimiento también la lente colectora se puede fijar en el electrodo propiamente dicho.

Con preferencia, se realiza una espectroscopia Raman in situ a través de la acumulación de fonones por medio de la lente colectora, de manera que la lente enfoca la luz dirigida hacia el sustrato sobre la capa a investigar y la radiación reflejada o dispersa por la capa o emitida por la superficie de la capa es suministrada paralelizada desde la cámara.

Con el concepto de capa se entiende de acuerdo con la invención también el sustrato propiamente dicho.

Por lo demás, a continuación se describe la invención en detalle con la ayuda de ejemplos de realización y las figuras, sin que con ello tenga lugar una limitación de la invención. En este caso:

La figura 1 muestra una sección a través del rf-electrodo y de la cámara de plasma de acuerdo con la invención (dibujo esquemático).

La figura 2 muestra una sección a través del electrodo de ducha de gas de acuerdo con la invención (dibujo técnico).

La figura 3 muestra una sección a través de la cámara de plasma de acuerdo con la invención (dibujo esquemático).

La figura 5 muestra una medición in situ, realizada a través de la estructura de acuerdo con la invención con orificio de paso óptico y disposición en la cámara de plasma, de la intensidad del desplazamiento de Stokes en función de la magnitud del desplazamiento como base de una espectroscopia Raman.

La figura 6 muestra una medición in situ, realizada a través de la estructura de acuerdo con la invención con orificio de paso óptico y disposición en la cámara de plasma, de la longitud de onda en función de la intensidad como base para la determinación de la concentración de SiH_4 en la cámara de plasma.

La figura 1 muestra el principio de la solución del cometido de la invención a través de un orificio de paso óptico. En el electrodo 1, el contra electrodo, está dispuesto el sustrato 6. El rf-electrodo 2 de acuerdo con la invención presenta el orificio de paso óptico, que es suficientemente grande para realizar un análisis o procesamiento del sustrato o del plasma in situ. La trayectoria de los rayos se conduce a tal fin con un ángulo de incidencia de cero grados con respecto al sustrato sobre éste y se enfoca a través de la lente. La zona del orificio de paso óptico se indica con el signo de referencia 5. El cono del orificio de paso óptico 5 con la abertura más pequeña dirigida hacia el sustrato provoca de manera ventajosa que se pueda acumular más radiación de retorno desde el sustrato a través de la lente que en el caso de un orificio de paso sencillo como en la figura 3. Sobre el lado del orificio de paso óptico 5 dirigido hacia el sustrato está dispuesta la rejilla de blindaje metálica 4, representada por la línea de puntos. El blindaje se puede soldar con esta finalidad en una ranura en el orificio de paso óptico. El signo de referencia 3 indica una lente colectora regulable en la altura en el soporte de fijación de la cámara de plasma.

La figura 2 muestra en la sección una disposición de electrodos de ducha de gas de acuerdo con la invención con tres placas de distribución de gas, que están insertadas en un soporte de fijación 39 de acero-VA. Se puede ver en la sección una placa de distribución de gas 32, que está alienada con relación al sustrato (no representado en la figura, pero que se puede disponer conceptualmente por encima del electrodo 31). Ésta está fijada con dos tornillos

37 en el soporte de fijación. Una segunda placa de distribución de gas 33 y una tercera placa de distribución de gas 34 están separadas una de la otra por anillos distanciadores 38. El diámetro de las placas de distribución de gas se incrementa desde la placa de distribución de gas 32 hasta la placa de distribución de gas 34. El taladro en la placa 32 tiene un diámetro interior de 210 mm, el taladro en la placa 33 tiene 16 mm y el taladro en la placa 34 tiene 19 mm.

- 5 Con el signo de referencia 35 se designa un embudo de forma escalonada como componente presente físicamente. El embudo 35 tiene escalones marginales, dirigidos hacia fuera, sobre los que están colocadas las placas de distribución de gas 32, 33 y 34. En el extremo inferior del embudo está dispuesto un canto roscado, que lleva en su borde dos o más taladros. Los taladros están previstos para los tornillos 36. Solamente el izquierdo de los dos tornillos 36 está provisto con signo de referencia. Todo el electrodo 31 formado por las placas y el soporte de fijación 39 se fija con la ayuda de soportes de cerámica 52, como se muestra en la figura 4 en la cámara de plasma.

- 10 Las placas de distribución de gas 32 a 34 posibilitan una distribución homogénea del gas en el espacio de plasma (fuera en la figura). A través de un número creciente de taladros de distribución de gas por cada placa de distribución de gas desde abajo hacia arriba en la figura se consigue la caída necesaria de la presión. De esta manera, el gas circula de forma homogénea desde la placa más alta 32 hasta la cámara de plasma. El gas es introducido a tal fin en primer lugar en la zona dispuesta debajo de la placa 34. El embudo en el orificio de paso óptico impide la salida de gas a través el orificio de paso óptico y lo retiene de forma estanca al gas.

- 15 El ángulo del cono y el tamaño del orificio de paso 35 a través del retículo perforado de las placas de distribución de gas se predeterminan por las tres placas de distribución de gas. Éstos deberían modificarse lo menos posible a través del orificio de paso óptico 35. El diámetro de la abertura superior del orificio de paso óptico en el cono es 1 cm, el diámetro de la abertura inferior es 2,2 cm,

- 20 El orificio de paso óptico ha sido seleccionado para realizar en el caso de un orificio pequeño en el electrodo superior un ángulo de aceptación lo más grande posible para la acumulación de la radiación electromagnética. En el presente caso, el electrodo de ducha de gas tiene un diámetro de 13,7 cm. Pero industrialmente se recubren tamaños medios del sustrato de hasta 5,7 m². Tampoco el sustrato tiene que estar dispuesto por encima del electrodo 32. El electrodo de ducha de gas puede estar también por encima del sustrato. Esto corresponde a una disposición "por encima de la cabeza" en la figura 2. El electrodo y el contra electrodo se pueden disponer también verticalmente. Esto corresponde a un basculamiento de 90°.

- 25 La figura 3 muestra de forma esquemática la disposición en una cámara de vacío 41 de acuerdo con la invención. Debido a la disposición de la turbo bomba 47 en este ejemplo no es posible una conducción lineal del rayo, por lo que se necesita la desviación de 45° a través del espejo 46. La distancia desde el rf-electrodo 44 de acuerdo con la invención y, por lo tanto, la distancia de la lente 45 con respecto al sustrato 43 es regulable en la altura y es variable desde aproximadamente 5 mm hasta aproximadamente 35 mm. Esto corresponde a las distancia empleadas en la industria para la separación de silicio durante el procedimiento PCVD. El signo de referencia 43 designa el contra electrodo, en el que está dispuesto el sustrato 43. Un láser de excitación no representado genera la radiación 48, que es enfocada a través de una ventana 50 en la pared de la cámara y a través de la lente colectora 45 sobre el sustrato o bien sobre una capa separada encima del mismo. El signo de referencia 49 muestra la radiación (Raman) acumulado a través de la lente, que es conducida a través de la lente 45 sobre el espejo 46. Desde el espejo 46 se alimenta la radiación 49 para el análisis siguiente hasta el espectrómetro (no representado). El ángulo de incidencia tiene cero grados.

- 30 La figura 4 muestra la forma de realización práctica de la figura 3 en la sección técnica. La lente colectora convexa plana 56 sirve para enfocar la radiación de excitación sobre la muestra y para acumular la radiación Raman (no representada). La distancia focal de la lente 56 está seleccionada para que la superficie del sustrato esté en el foco (aquí 38 mm). La lente 56 está retenida con un tornillo 55 en el soporte de fijación.

- 35 Las placas de vidrio 60 han sido introducidas sobre la lente 56 para impedir el recubrimiento de la lente durante la separación de la capa de muestra (no representada). Posibilita de manera ventajosa una limpieza sencilla de la óptica. El orificio de paso óptico no se representa en esta figura. Para el desacoplamiento y acoplamiento de la radiación está dispuesto un espejo 61 en un ángulo de 45° con respecto al soporte de fijación.

- 40 El espejo 61 está dispuesto junto con la lente 56 en un soporte. Este soporte 53 está fijado de forma regulable en la altura en el electrodo para poder someter a espectroscopia de forma variable diferentes distancias entre el electrodo y la capa así como la capa propiamente dicha. La posibilidad de regulación de la altura se garantiza por medio de un tornillo en un taladro alargado (no se puede ver en este dibujo).

- 45 La figura 5 muestra una medición in situ, realizada a través de la estructura de acuerdo con la invención con orificio de paso óptico y disposición en la cámara de plasma, de la intensidad del desplazamiento de Stokes en función de la magnitud del desplazamiento como base de una espectroscopia Raman. Se muestran mediciones en diferentes fases de la separación de la capa. Después reaproximadamente 12 nm de la capa de silicio separada se puede reconocer una señal que se puede asociar al sustrato de vidrio. Después de aproximadamente 240 nm, la señal de medición muestra una característica típica de silicio microcristalino. El desplazamiento de Stokes del silicio

microcristalino se puede descomponer en dos porciones. La primera parte es provocada por la fase microcristalina y tiene un máximo de intensidad en $\sim 520 \text{ cm}^{-1}$. La segunda parte es provocada por la fase amorfa. Su máximo de intensidad está en $\sim 480 \text{ cm}^{-1}$. Puesto que la separación tiene lugar a 200°C , el máximo de intensidad de la fase microcristalina está en un desplazamiento de Stokes es aproximadamente 505 números de ondas relativas, el de la fase amorfa está en $\sim 460 \text{ cm}^{-1}$. Con un espesor de la capa separada de aproximadamente 720 nm, la señal está todavía más claramente marcada, por que ahora se suprime totalmente la contribución del sustrato de vidrio

La figura 6a) la medición in situ, realizada a través de la estructura de acuerdo con la invención con orificio de paso óptico y disposición en la cámara de plasma, de la intensidad de la emisión óptica del plasma en función de la longitud de ondas en un intervalo de 505 a 570 nm. Si se mide en una zona espectral mayor, como se representa en la figura 6b), se puede utilizar, por ejemplo, la relación de dos líneas de emisión para determinar la concentración de gas en el plasma.

REIVINDICACIONES

- 1.- rf-electrodo para la generación de un plasma en una cámara de plasma, con al menos un orificio de paso óptico, en el que el rf-electrodo es una ducha de gas, caracterizado por un embudo cónico, que reviste de forma hermética al gas el orificio de paso óptico de la ducha de gas.
- 5 2.- Electrodo de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el orificio de paso óptico es tan grande que a través del rf-electrodo se puede realizar una espectroscopia Raman in situ o una espectroscopia de emisión óptica.
- 3.- Electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por una sección cónica del orificio de paso óptico.
- 10 4.- Electrodo de acuerdo con la reivindicación anterior, en el que el más pequeño de los dos orificios de paso presenta un área de $0,03 \text{ cm}^2$ a 5 cm^2 .
- 5.- Electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el mayor de los orificios de paso presenta un área de $0,031$ a 100 cm^2 .
- 6.- Electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que un orificio de paso presenta un blindaje.
- 15 7.- Electrodo de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por una rejilla metálica como blindaje del orificio de paso óptico, que está dispuesta sobre la abertura del orificio de paso óptico.
- 8.- Electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por una lente colectora.
- 9.- Electrodo de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que entre la lente colectora y la abertura del orificio de paso óptico está dispuesta una plaquita de vidrio para la protección de la lente colectora frente a un gas en la cámara de plasma.
- 20 10.- Electrodo de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que en la ducha de gas está dispuesta más que una placa de distribución de gas.
- 11.- Cámara de plasma, que comprende un rf-electrodo y un contra electrodo con un soporte de sustrato para el alojamiento de un sustrato, en la que entre el rf-electrodo y el contra electrodo se puede configurar un campo alterno de alta frecuencia para la generación del plasma, caracterizada por un rf-electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
- 25 12.- Cámara de plasma de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizada por un rf-electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en la que una lente colectora convexa dispuesta en la cámara de plasma puede enfocar radiación electromagnética a través del orificio de paso óptico sobre la capa o sobre el plasma, y puede paralelizar radiación dispersa o reflejada a través del orificio de paso óptico o emitida desde la capa o desde el plasma con la finalidad el análisis de la radiación dispersa o reflejada o emitida y la puede conducir a un aparato de análisis.
- 30 13.- Cámara de plasma de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizada por una lente colectora desplazable en la trayectoria de los rayos de la cámara de plasma.
- 35 14.- Procedimiento para el análisis in situ o para el procesamiento in situ de una capa o de un plasma en una cámara de plasma de acuerdo con una de las tres reivindicaciones anteriores, en el que la capa está dispuesta sobre un contra electrodo y obre el lado dirigido hacia la capa está dispuesto un rf-electrodo, caracterizado por la sección de un rf-electrodo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, y por al menos una etapa, en la que se conduce radiación electromagnética desde la cámara de plasma a través del orificio de paso óptico del rf-electrodo hacia el aparato de análisis.
- 40 15.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que se realiza una espectroscopia Raman in situ de la capa en crecimiento o una espectroscopia de emisión óptica del plasma, siendo alimentada la radiación electromagnética a través de una lente colectora al aparato de análisis.

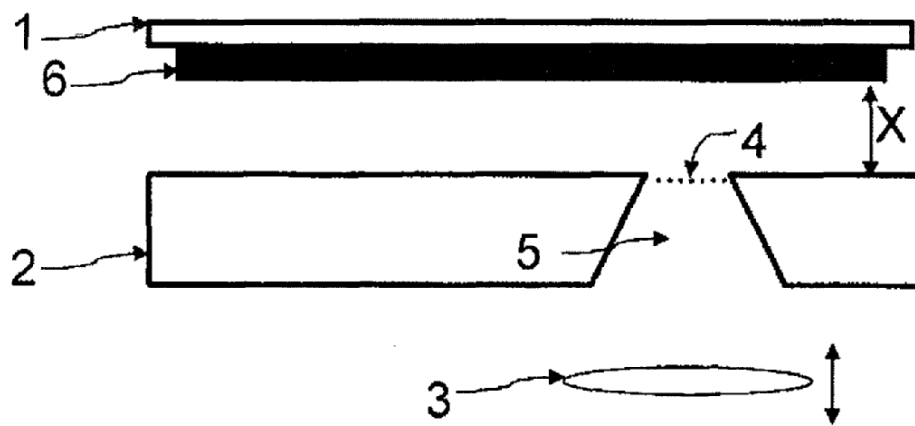


Fig. 1

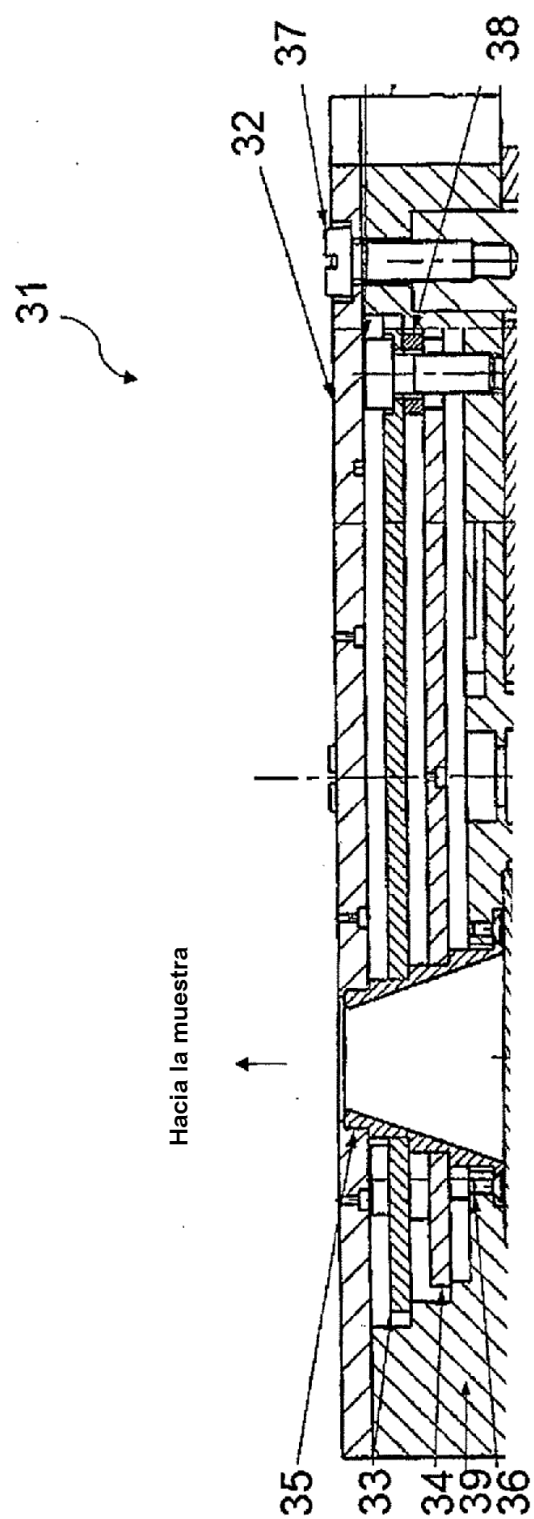


Fig. 2

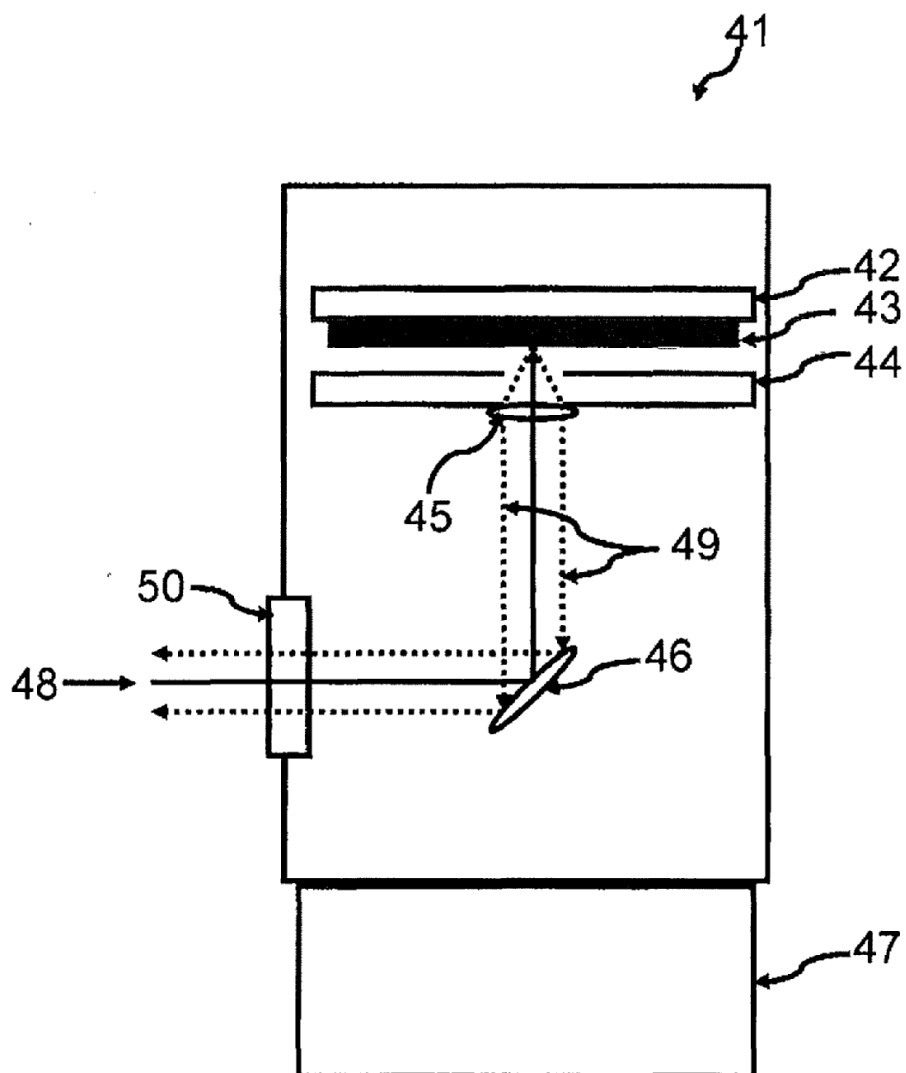


Fig. 3

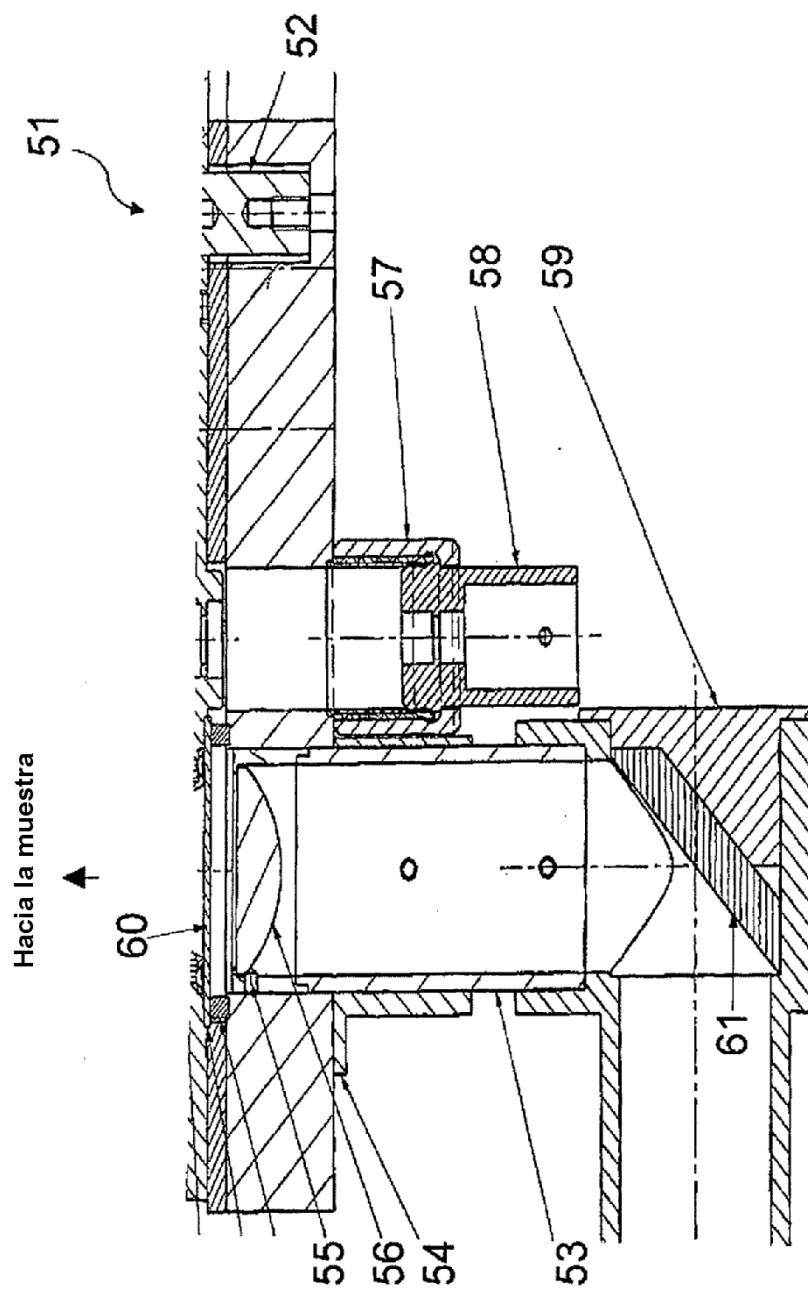


Fig. 4

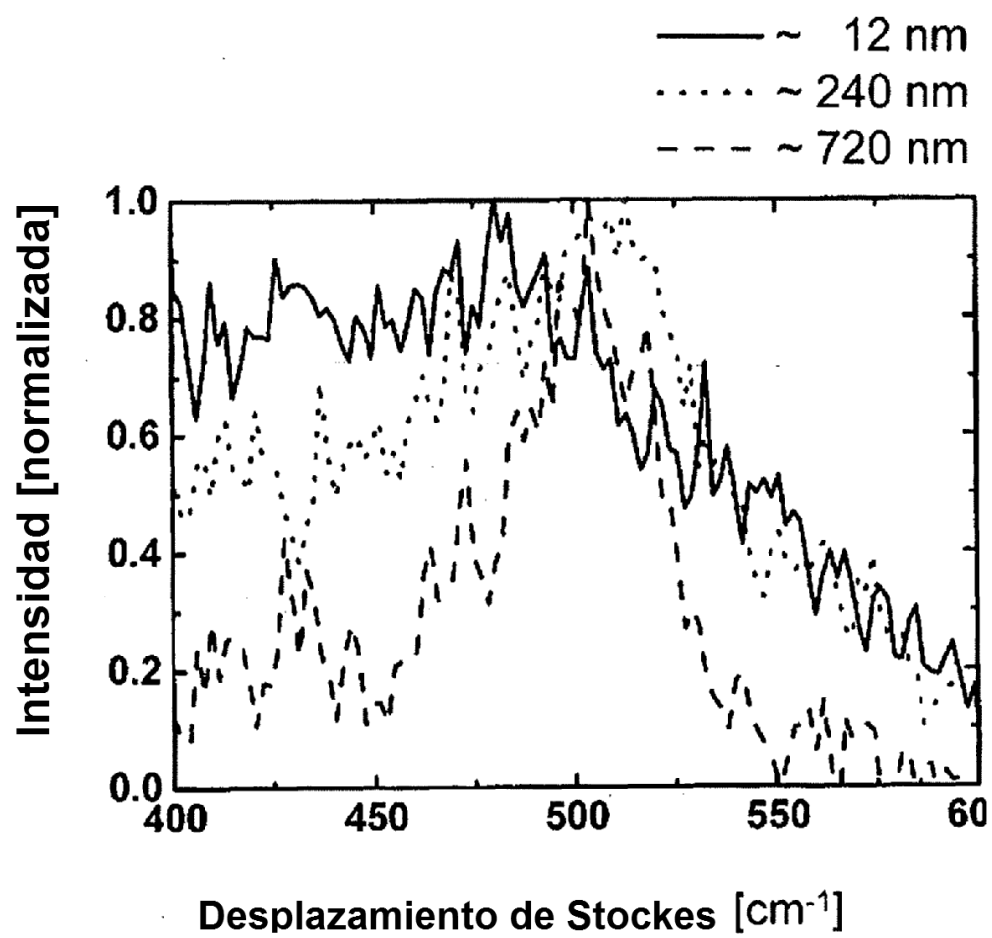


Fig. 5

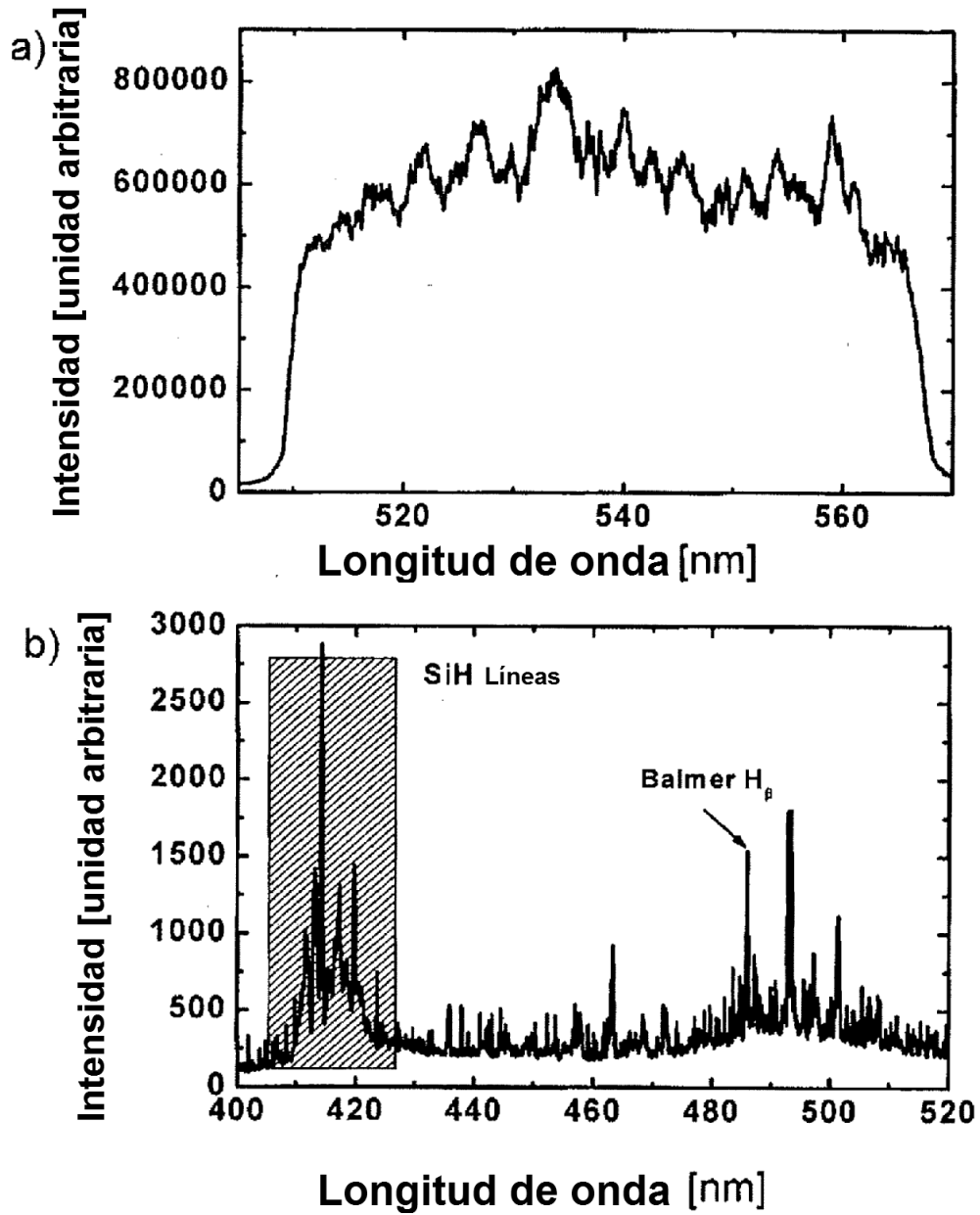


Fig. 6