

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 962**

51 Int. Cl.:

H05H 1/46 (2006.01)

H01J 37/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2013** **PCT/EP2013/052340**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.08.2014** **WO2014121831**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2013** **E 13704058 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016** **EP 2954758**

54 Título: **Fuente de plasma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.06.2017

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL INVESTIGAÇION Y
DESARROLLO, SL (100.0%)
CL/Chavarri, 6
48910 Sestao, Bizkaia, ES**

72 Inventor/es:
**DUMINICA, FLORIN DANIEL;
LECLERCQ, VINCENT;
SILBERBERG, ERIC y
DANIEL, ALAIN**

74 Agente/Representante:
SALVA FERRER, Joan

ES 2 617 962 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

Fuente de plasma.

5 **[0001]** La presente invención se refiere a una fuente de plasma destinada al depósito de un revestimiento sobre un sustrato. La presente invención se refiere por tanto a una fuente de plasma destinada al depósito de un revestimiento sobre un sustrato y apta para estar vinculada a una fuente de energía.

[0002] La principal aplicación de la invención es el depósito químico en fase de vapor mediante plasma
10 (PECVD para *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition*) que se utiliza para depositar una capa fina de un revestimiento sobre un sustrato a partir de un precursor en fase gaseosa.

[0003] El principio de este depósito es simple puesto que consiste en generar un plasma en el cual los
15 productos procedentes de la descomposición de un gas precursor se van a depositar sobre el sustrato y formar el depósito.

[0004] En el marco de esta aplicación, se puede considerar un gran panel de sustratos y revestimientos. Los sustratos tratados con más frecuencia por PECAD son los materiales dieléctricos como ciertos polímeros y el vidrio, los metales conductores y los semiconductores. Sobre estos sustratos se puede depositar una gran variedad de
20 revestimientos como el carbono diamante designado por el término genérico Diamond-like Carbon (DLC), el dióxido de silicio (SiO₂), de estaño (SnO₂), de circonio (ZrO₂) o incluso de titanio (TiO₂). Estos revestimientos se utilizan por ejemplo para proteger el sustrato depositando sobre su superficie una película resistente a la abrasión; para generar un efecto antirreflectante o crear una capa anti-huellas de dedos; o incluso para conferir al sustrato unas propiedades fotocatalíticas utilizadas en el marco de la fabricación de superficies autolimpiables.

[0005] Por otro lado, la tasa de ionización generada por el procedimiento PECAD es relativamente reducida comparada con otros procedimientos de depósito al vacío lo que conduce a un aumento reducido de la temperatura del sustrato. Este procedimiento está por tanto particularmente bien adaptado al tratamiento de las superficies sensibles al calor como el acero galvanizado o el acero pintado.

[0006] Por el documento WO2004/027825 se conoce una fuente de plasma destinada al depósito de un revestimiento sobre un sustrato. Esta fuente de plasma comprende un electrodo que delimita una cavidad de descarga y que permite el posicionamiento del sustrato que se va a recubrir enfrente de una apertura. La sección transversal del electrodo comprende dos paredes laterales situadas a ambos lados de un fondo. Un conjunto
35 magnético está situado en la periferia del electrodo y comprende dos imanes laterales dispuestos detrás de las paredes laterales y orientados de tal forma que sus polos que están situados uno frente al otro sean de la misma polaridad así como un soporte magnético situado en la periferia del electrodo y que une los dos imanes. Los dos imanes laterales generan unas líneas de campo salientes, es decir unas líneas de campo dirigidas de los imanes laterales hacia el exterior de la cavidad de descarga pasando por la apertura y unas líneas de campos internos, es
40 decir unas líneas de campo dirigidas de los imanes laterales hacia el interior de la cavidad de descarga.

[0007] Durante el funcionamiento de la fuente, unos electrones se retiran de la superficie del electrodo y se encuentran atrapados en las líneas de campo magnético. En función del lugar del cual se retire el electrón, se encuentra atrapado ya sea en las líneas de campo internas o en las líneas de campo salientes. Los electrones
45 atrapados en las líneas de campo salientes sales de la fuente por la apertura y generan, en el exterior de la fuente de plasma, un plasma en el cual se va a descomponer el gas precursor. No obstante, esta fuente de plasma presenta una apertura de ancho inferior al ancho de la cavidad de descarga, lo que altera la expulsión de los electrones y limita por lo tanto la densidad del plasma. La calidad del revestimiento y la velocidad de depósito del revestimiento sobre el sustrato se alteran.

[0008] Se conoce también el documento US2005/0194910 A1 que divulga una fuente de plasma capacitiva para iPVD que utiliza unos campos magnéticos.

[0009] La invención tiene como objeto paliar los inconvenientes del estado de la técnica proporcionando una
50 fuente de plasma que permita producir con igual potencia un plasma más denso y uniforme y que permita en consecuencia obtener unos revestimientos de mejor calidad y productos más rápidamente.

[0010] Para resolver este problema, la fuente de plasma tal como se ha mencionado al principio comprende

- a) Un electrodo que delimita una cavidad de descarga que desemboca en una apertura enfrente de la cual puede estar posicionado dicho sustrato, comprendiendo la sección transversal de dicho electrodo una primera y una segunda pared lateral situadas a ambos lados de un fondo provisto de una parte central que sobresale en dicha cavidad de descarga, comprendiendo dicha parte central una primera y una segunda pared central y una punta que une las dos paredes centrales,
- b) un conjunto magnético situado en la periferia de dicho electrodo y que comprende un conjunto de imanes unidos entre sí por un soporte magnético, comprendiendo cada uno de dichos imanes un polo expuesto girado hacia la cavidad de descarga y un polo protegido orientado hacia dicho soporte magnético, comprendiendo dicho conjunto de imanes:
- i al menos un primer y un segundo imán lateral, estando dicho primer imán lateral, respectivamente segundo imán lateral, dispuesto detrás de dicha primera pared lateral, respectivamente segunda pared lateral, cerca de dicha apertura, estando dichos dos imanes laterales orientados de tal forma que sus polos expuestos sean de la misma polaridad,
 - ii al menos un primer y un segundo imán central, estando dicho primer imán central, respectivamente segundo imán central, dispuesto detrás de dicha primera pared central, respectivamente segunda pared central estando dichos dos imanes centrales orientados de tal forma que su polo expuesto sea de polaridad inversa a la de los polos expuestos de los imanes laterales,
 - iii al menos un imán frontal, dispuesto detrás de dicha punta y orientado de tal forma que su polo expuesto sea de la misma polaridad que la de los polos expuestos de los imanes laterales,
- c) un recinto eléctricamente aislante dispuesto de modo que rodee el electrodo y los imanes sin tapar dicha apertura.
- [0011]** Se prevé por tanto según la invención, añadir a los imanes laterales al menos dos imanes centrales y al menos un imán frontal, dispuestos detrás de las paredes de una parte central del electrodo. Este conjunto de al menos tres imanes permite modificar la configuración de las líneas de campo magnético y, en particular, aumentar la densidad de las líneas de campo salientes. Durante el funcionamiento de la fuente de plasma, esta densificación tiene como efecto atrapar en las líneas de campo un mayor número de electrones y de iones en el exterior de la fuente de plasma y cerca del sustrato que se va a revestir. Así, con la misma potencia, se obtiene un plasma más denso y se acelera el depósito del revestimiento sobre el sustrato.
- [0012]** Además, este conjunto de al menos tres imanes aumenta la densidad de líneas de campo internas. Durante el funcionamiento de la fuente de plasma, esta densificación tiene como efecto concentrar los electrones en estas líneas de campo. Este depósito de electrones contribuye a la estabilidad del plasma. Así, es posible trabajar a una presión cualificada de alta presión, a saber hasta unos mbar, por ejemplo entre 0,001 y 1 mbar mientras que en el estado de la técnica, la presión mantenida debe ser inferior a 0,05 mbar. Esto es igualmente una ventaja no despreciable porque un vacío menos importante genera unos costes de funcionamiento menores y un balance energético más favorable puesto que el voltaje necesario para generar el plasma es inferior a 400 V.
- [0013]** La fuente de plasma según la invención puede comprender igualmente las características opcionales indicadas en las reivindicaciones dependientes, pudiendo ser tomadas estas características opcionales de forma aislada o en combinación.
- [0014]** De manera ventajosa, la apertura de la fuente de plasma según la invención tiene el mismo ancho que la cavidad de descarga.
- [0015]** En un modo de realización preferencial, el soporte magnético presenta forma de E cuya barra del medio consta de un extremo alargado de modo que el polo protegido del imán frontal esté completamente en contacto con el soporte magnético.
- [0016]** De preferencia, el soporte magnético está formado por una sola pieza.
- [0017]** De manera ventajosa, la fuente de plasma comprende un medio de refrigeración de los imanes y del electrodo.
- [0018]** En una forma de realización preferencial, el medio de refrigeración comprende un espacio proporcionado entre el electrodo y el conjunto magnético y destinado a la circulación de un fluido portador de calor.
- [0019]** De manera ventajosa, el medio de refrigeración comprende un circuito de tubuladuras.
- [0020]** Más particularmente, la fuente de plasma comprende además un medio de inyección destinado a

inyectar un gas ionizable en la cavidad de descarga.

[0021] En una forma preferida de la invención, el medio de inyección está posicionado cerca del fondo.

5 **[0022]** Otras formas de realizaciones de la fuente de plasma según la invención se mencionan en las reivindicaciones anexas.

[0023] La presente invención se refiere igualmente a un Equipo de depósito al vacío que comprende una fuente de plasma según la presente invención.

10

[0024] De manera ventajosa, el equipo de depósito comprende además una segunda fuente de plasma según la invención, estando destinadas las dos fuentes de plasma a un funcionamiento dual.

15 **[0025]** En una variante ventajosa, los ejes de simetría de dos fuentes de plasma forman un ángulo α comprendido entre 20 y 110°.

[0026] De preferencia, en el equipo según la invención, los polos que están frente a los imanes laterales de la primera fuente de plasma son de polaridad inversa a la de los polos que están frente a unos imanes laterales de la segunda fuente de plasma.

20

[0027] De manera ventajosa, el equipo según la invención comprende además un inyector de gas precursor.

[0028] Otras formas de realización del equipo se mencionan en las reivindicaciones anexas.

25 **[0029]** Otras características, detalles y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción dada a continuación, a título no limitativo y en referencia a los dibujos anexos:

La figura 1 es una vista en sección en perspectiva de una fuente de plasma según la invención

La figura 2 es una vista en sección esquemática según el eje A-A de la fuente de plasma de la figura 1

30 La figura 3 representa una descripción esquemática de la configuración de las líneas de campo magnético de la fuente de plasma ilustrada en la figura 2, generadas en el interior y en el exterior de la fuente de plasma.

La figura 4 representa una vista en sección esquemática de un equipo de depósito al vacío que comprende una fuente de plasma según la invención.

35 La figura 5 es una vista en sección esquemática de un equipo de depósito al vacío que comprende dos fuentes de plasma según la invención y en el cual la fuente de energía es una fuente de corriente alterna.

La figura 6 muestra los resultados de análisis por espectroscopia por transformada de Fourier de depósitos de sílice obtenidos por medio de una fuente de plasma según el estado de la técnica.

La figura 7 muestra los resultados de análisis por espectroscopia por transformada de Fourier de depósitos de sílice obtenidos por medio de una fuente de plasma según la invención.

40

[0030] En las figuras, los elementos idénticos o análogos llevan las mismas referencias.

[0031] Se describe una fuente de plasma según la invención en apoyo de las figuras de 1 a 3.

45 **[0032]** En referencia a la figura 1, la fuente de plasma de este modo de realización es de forma paralelepípedica alargada. Esta forma se busca en el caso presente en que la fuente de plasma está destinada al depósito de un revestimiento sobre una banda metálica de gran ancho en desplazamiento. A fin de obtener una buena uniformidad de depósito, es preferible que la fuente de plasma sea más larga que el ancho de banda metálica. Alternativamente, y para otros usos, la fuente de plasma podrá tomar otras formas, tales como, por ejemplo
50 la de toro.

[0033] En referencia a la figura 2, la fuente de plasma 1 comprende un electrodo 2 cuya sección transversal tiene aproximadamente forma de E y que delimita una cavidad de descarga 3, un conjunto magnético 4 situado en la periferia del electrodo y un recinto eléctricamente aislante 5 cuya sección transversal tiene aproximadamente forma de U de modo que rodee el electrodo y el conjunto magnético a la vez que se proporciona una apertura 6 que desemboca en la cavidad de descarga 3.

[0034] El electrodo 2 comprende en primer lugar una primera pared lateral 21 y una segunda pared lateral 22 correspondiente a las barras inferiores y superiores de la E. Estas dos paredes laterales constituyen igualmente las

paredes laterales de la cavidad de descarga. La primera pared lateral 21, respectivamente segunda pared lateral 22, está unida por medio de un fondo 23, respectivamente 24, a una parte central 25 correspondiente a la barra intermedia de la E.

- 5 **[0035]** La parte central 25 consiste en un saliente en la cavidad de descarga y está formada por dos paredes centrales 26, 27 y una punta 28 que une las dos paredes centrales.

- [0036]** El conjunto del electrodo está formado por un material conductor no magnético, tal como el cobre, Al, Ti, acero inoxidable 316, del cual se retirarán los electrones durante el funcionamiento de la fuente de plasma. De
10 preferencia el electrodo está formado por una sola pieza ya que esta pieza se puede utilizar como pared de refrigeración. No obstante, se podrá recurrir alternativamente a un conjunto de piezas ensambladas entre ellas de modo que se forme el electrodo. Además, para limitar el deterioro del electrodo sometido al bombardeo iónico, los electrodos pueden estar protegidos por unas placas 211, 221 y 251 constituidas por conductores metálicos no magnéticos como el aluminio, el acero inoxidable 316 y el Ti.

- 15 **[0037]** El conjunto magnético 4 comprende un conjunto de imanes unidos entre ellos por medio de un soporte magnético y dispuestos de modo que generen unas líneas de campo magnético salientes particularmente densas cerca de la apertura 6.

- 20 **[0038]** De preferencia, los imanes son permanentes y seleccionados en el grupo de los imanes de tipo NdFeB o SmCo.

- [0039]** El conjunto magnético 4 comprende, en primer lugar, un primer imán lateral 41 dispuesto detrás de la primera pared lateral del electrodo cerca de la apertura 6. Simétricamente, un segundo imán lateral 42 está
25 dispuesto detrás de la segunda pared lateral del electrodo cerca de la apertura 6.

- [0040]** Los imanes laterales 41 y 42 comprenden cada uno un polo expuesto orientado hacia la cavidad de descarga y un polo protegido orientado hacia el recinto aislante. Los dos imanes laterales están orientados de tal forma que sus polos expuestos, que están uno frente al otro, sean de la misma polaridad.

- 30 **[0041]** El conjunto magnético 4 comprende igualmente un primer imán central 43 dispuesto detrás de la primera pared central 26 del electrodo cerca del fondo 23. Simétricamente, un segundo imán central 44 está dispuesto detrás de la segunda pared central 27 del electrodo cerca del fondo 24.

- 35 **[0042]** Los imanes centrales 43 y 44 comprenden cada uno un polo expuesto orientado hacia la cavidad de descarga y un polo protegido orientado hacia el interior de la parte central. Los dos imanes laterales están orientados de tal forma que sus polos expuestos sean de polaridad inversa a la de los dos polos expuestos de los imanes laterales 41 y 42.

- 40 **[0043]** El conjunto magnético 4 comprende por último un imán frontal 45 situado detrás de la punta 28 de la parte central 25. Este imán comprende un polo expuesto orientado hacia la cavidad de descarga y un polo protegido orientado hacia el interior de la parte central. Está orientado de tal forma que su polo expuesto sea de la misma polaridad que la de los polos expuestos de los imanes laterales 41 y 42.

- 45 **[0044]** Todos los imanes del conjunto magnético están unidos entre sí por medio de un soporte magnético 46 situado en la periferia del electrodo. En el ejemplo de la figura 2, su sección transversal tiene aproximadamente forma de E. Para que el electrodo funcione, es suficiente con que cada imán esté en contacto al menos en un punto con el soporte magnético. No obstante, de forma que se eviten las fugas magnéticas, se garantizará de preferencia que el polo protegido de cada imán esté íntegramente en contacto con el soporte magnético. A tal efecto, el soporte
50 magnético dado en ejemplo en la figura 2 presenta la forma de una E cuya barra del medio presenta un extremo alargado de modo que la cara protegida del imán 45 esté completamente en contacto con el soporte magnético.

- [0045]** De preferencia, y siempre en un intento de evitar las fugas magnéticas, el soporte magnético está formado por una sola pieza. No obstante, para facilitar el montaje, se podrá recurrir a un conjunto de piezas
55 ensambladas entre sí de modo que formen un conjunto continuo.

[0046] El soporte magnético 46 está formado por cualquier material que presente una permeabilidad magnética relativa elevada, de preferencia superior a 2000, tal como por ejemplo el mumetal®, los aceros permalloy® y los metales Ni, Fe y Co.

[0047] Las orientaciones respectivas de los imanes pueden resumirse por medio de las tablas 1 y 2 siguientes que ilustran dos variantes:

5

Tabla 1.-

Imán	Polaridad	
	Polo expuesto	Polo protegido
Imán lateral 41	N	S
Imán lateral 42	N	S
Imán central 43	S	N
Imán central 44	S	N
Imán frontal 45	N	S

Tabla 2.-

Imán	Polaridad	
	Polo expuesto	Polo protegido
Imán lateral 41	S	N
Imán lateral 42	S	N
Imán central 43	N	S
Imán central 44	N	S
Imán frontal 45	S	N

[0048] Como se ilustra en la figura 2, la disposición y la orientación de los imanes, tales como se han descrito más arriba, tiene los siguientes efectos:

- los imanes laterales 41 y 42 generan unas líneas de campo salientes, es decir unas líneas de campo dirigidas de los imanes laterales hacia el exterior de la cavidad de descarga pasando por la apertura 6 y unas líneas de campo internas, es decir unas líneas de campo dirigidas de los imanes laterales hacia el interior de la cavidad de descarga y, en particular, hacia la parte central.

- El imán frontal 45 genera principalmente unas líneas de campo salientes que se suman a las producidas por los imanes laterales, aumentan así casi la densidad de líneas de campo salientes, que mejoran así la eficacia de la fuente de plasma como se ilustrará posteriormente.

20

- Los imanes centrales 43, 44 permiten en primer lugar que el imán frontal esté puesto en contacto del soporte magnético. En efecto, en su ausencia, la parte central del soporte magnético presenta una polaridad igual a la de la cara protegida de los imanes laterales, dicho de otro modo una polaridad idéntica a la de la cara protegida del imán frontal, lo que tiene como efecto empujar el imán frontal que se desea establecer. Al contrario, en su presencia, la parte central del soporte magnético presenta una polaridad inversa de la de la cara protegida de los imanes laterales ya que:

• En un primer caso, los imanes centrales 43, 44 que presentan una polaridad de la cara protegida inversa de la de la cara protegida de los imanes laterales se han podido fijar sobre el soporte magnético en la base de la parte central que presentaba entonces una polaridad igual a la de la cara protegida de los imanes laterales.

• Su fijación ha invertido la polaridad del extremo de la parte central del soporte magnético, estando este extremo ahora en contacto de la cara protegida de los imanes centrales.

- Los imanes centrales 43, 44 permiten, además, intensificar las líneas de campo internas gracias a los bucles magnéticos generados entre estos imanes y los imanes laterales, a través del soporte magnético.

[0049] Dicho de otro modo, el conjunto de los imanes genera:

- a) una región 100 densa en líneas de campo externas, situada principalmente en el exterior de la fuente de plasma cerca de la apertura,
- b) dos regiones 101 donde el campo magnético que resulta es nulo, situadas en la cavidad de descarga entre la apertura y la punta de la parte central,
- c) dos regiones 102 que presentan una fuerte densidad de líneas de campo internas, situadas a ambos lados de la parte central.

- [0050]** A fin de optimizar la configuración de las líneas de campo magnético, se ajustará de preferencia la longitud de los imanes laterales y la distancia entre el imán frontal y la mediatriz de los imanes laterales, de modo que los imanes laterales interactúan bien con los imanes centrales y que el imán frontal interactúa de forma equilibrada tanto con los imanes centrales como con los imanes laterales. De preferencia, el imán frontal estará colocado de tal manera que su polo expuesto esté sobre la mediatriz de los imanes laterales. De preferencia, el imán frontal está colocado en el centro del electrodo. La distancia entre los polos expuestos de los imanes laterales está comprendida, de preferencia, entre 8 a 12 centímetros.
- 10 **[0051]** La descripción anterior correspondía a la de la sección transversal de la fuente de plasma. Siendo esta última no obstante alargada, es evidente que cada uno de los imanes descritos más arriba puede consistir en una sucesión de imanes yuxtapuestos y alineados en el sentido longitudinal de la fuente de plasma y no simplemente en un imán único.
- 15 **[0052]** Gracias a su disposición trasera, las paredes laterales, las paredes centrales y la punta, los imanes están aislados del entorno que impera en la cavidad de descarga durante el funcionamiento de la fuente de plasma y no están dañados de este modo. Además, se pueden refrigerar fácilmente así a fin de que su temperatura no supere la temperatura de Curie, temperatura a la cual pierden sus propiedades magnéticas. En efecto, el riesgo de desmagnetización de los imanes es elevado cuando estos últimos son llevados a unas temperaturas tales como las encontradas en la cavidad de descarga durante una descarga magnetrón.
- 20 **[0053]** Para ello, la fuente de plasma contiene de preferencia un medio de refrigeración 7 de los imanes y del electrodo. Como se ilustra en la figura 2, la refrigeración se puede garantizar por una circulación de fluido portador de calor en un espacio proporcionado entre el electrodo y el conjunto magnético. Este tipo de refrigeración tiene como ventaja permitir aislar eléctricamente los imanes del electrodo cuando se hace circular un fluido portador de calor aislante eléctrico tal como el agua desmineralizada.
- 25 **[0054]** Alternativamente, y como se ilustra en la figura 3, el medio de refrigeración 7 puede consistir en un circuito de tubuladuras soldadas que atraviesan el espesor del electrodo o dispuestas en contacto con la periferia de esta. Durante el funcionamiento de la fuente de plasma, la refrigeración se garantiza por una circulación, en las tubuladuras, de agua o de otros fluidos portadores de calor.
- 30 **[0055]** La fuente de plasma 1 comprende por último un recinto aislante cuya sección transversal tiene aproximadamente forma de U de modo que rodee el electrodo y los imanes a la vez que proporciona una apertura 6. Como se verá posteriormente, durante la descripción del funcionamiento del dispositivo, no es necesario que la apertura 6 sea de ancho inferior al ancho de la cavidad de descarga como es el caso para los dispositivos del estado de la técnica. De preferencia, la apertura 6 tiene por tanto el mismo ancho que la cavidad de descarga. El recurso a un recinto aislante permite garantizar que las descargas eléctricas generadas durante el funcionamiento de la fuente de plasma solo provengan del electrodo 2.
- 40 **[0056]** El recinto aislante comprende un material eléctricamente aislante, de preferencia, un material dieléctrico seleccionado en el grupo constituido por macanitas, teflón, resinas cargadas en cerámicas...
- 45 **[0057]** Durante el funcionamiento del electrodo, el bombardeo electrónico e iónico puede generar un calentamiento de las materias dieléctricas del recinto aislante 5, lo que puede generar unas limitaciones mecánicas locales. Para paliar este inconveniente, se pueden colocar unas placas refrigeradas con agua 71 sobre el dieléctrico 5 a ambos lados de la apertura 6, como se ilustra en la figura 2.
- 50 **[0058]** De preferencia, la fuente de plasma comprende igualmente unos medios de inyección 8 que permiten inyectar un gas ionizable en la cavidad de descarga. La forma y la posición de estos medios de inyección pueden ser variadas. De preferencia, se posicionarán los medios de inyección cerca del fondo 23 y/o del fondo 24 de modo que, durante el funcionamiento de la fuente de plasma, el gas ionizable circule de los fondos hacia la apertura 6. En el ejemplo de la figura 2, los medios de inyección consisten en unas tubuladuras de inyección colocadas delante de los fondos 23 y 24 del electrodo, en la cavidad de descarga. Se trata aquí de tubos de acero inoxidable que presentan unos orificios para una distribución uniforme del gas en la longitud del tubo. Alternativamente, los medios de inyección pueden estar parcialmente integrados en los fondos. De preferencia, un medio de inyección está dispuesto cerca de cada uno de los fondos 23 y 24, de modo que el gas ionizable esté distribuido de forma homogénea en la cavidad de descarga. El funcionamiento y las ventajas de este sistema de inyección se describirán posteriormente.

[0059] Se describe ahora la fuente de plasma en funcionamiento, según un primer modo, en un equipo de depósito al vacío, en referencia a la figura 4.

[0060] En primer lugar, la fuente de plasma está colocada en una cámara de tratamiento (no representada) mantenida al vacío y dispuesta para alojar un sustrato 9, de preferencia en forma de una banda en desplazamiento. La fuente de plasma está dispuesta de modo que la apertura 6 esté enfrente del sustrato 9 y, de preferencia, está dispuesta de manera casi transversal con respecto al sentido de desplazamiento de la banda de sustrato 9.

[0061] El electrodo 2 de la fuente de plasma está unido a una fuente de energía P, característicamente una fuente de corriente continua o alterna, habitualmente situada fuera de la cámara de tratamiento. En el caso de este primer modo de funcionamiento, la función de contraelectrodo es desempeñada por el sustrato 9 en desplazamiento y puesta a tierra.

[0062] La cámara de tratamiento comprende igualmente al menos un inyector 10 de gas precursor. Este inyector puede estar fijado sobre la fuente de plasma cerca de la apertura 6. De preferencia, será no obstante independiente de la fuente de plasma y situado cerca de los bordes laterales de la fuente de plasma de modo que se evite la inyección de gas precursor en dirección de la cavidad de descarga, lo que contribuiría a la obstrucción de esta. En el ejemplo de la figura 4, los inyectores están formados por una red de tubos de acero inoxidable porosos que presentan una fuerte pérdida de carga y rodeadas por unos tubos que presentan unos orificios distribuidos de manera que se garantice una distribución uniforme del gas en toda la longitud de la tubuladura. No obstante, se puede utilizar aquí cualquier tipo de inyector de gas precursor al vacío conocido.

[0063] Cuando la fuente de energía P está activada, se crea en primer lugar una diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo 2 y el sustrato. Bajo el efecto de esta diferencia de potencial, unos electrones se retiran de la superficie del electrodo y se encuentran atrapados en las líneas de campo magnético. En función del lugar del cual se retira el electrón, se encuentra atrapado ya sea en las líneas de campo internas o en las líneas de campo salientes.

[0064] Gracias a la fuerte densidad de líneas de campo salientes obtenida gracias a la disposición particular de los imanes según la invención, un gran número de electrones se encuentran atrapados en las líneas de campo salientes cerca de la apertura 6 y cerca del sustrato 9.

[0065] El gas precursor, inyectado en dirección del espacio comprendido entre la fuente de plasma y el sustrato, se ioniza en contacto con la fuerte densidad electrónica y forma así un plasma.

[0066] Un gas ionizable se inyecta desde el fondo de la cavidad de descarga a través de los medios de inyección 8. La fuerza de inyección impulsa el gas ionizable hacia las regiones 102 que presentan una fuerte densidad de líneas de campo internas, situadas a ambos lados de la parte central, donde se ioniza por colisión con los electrones atrapados en las líneas de campo internas.

[0067] Una parte de estos iones entra en colisión con las paredes del electrodo. Esto contribuye a evitar la eventual obstrucción de la cavidad de descarga por los productos procedentes de la descomposición del gas precursor y susceptibles de penetrar en la cavidad de descarga. La eficacia de esta limpieza puede permitir pasar de una apertura de ancho inferior al ancho de la cavidad, lo que contribuye aún a facilitar la salida de los electrones de la fuente plasma y contribuye por tanto a la mejora de los rendimientos de esta.

[0068] Además, los iones expulsados fuera de la fuente de plasma bombardean el sustrato, lo que proporciona energía a este último y contribuye así a la densificación de la capa depositada.

[0069] Por último, el gas ionizable impulsa hacia el sustrato el gas precursor limitando así la formación de un depósito en el interior de la fuente de plasma.

[0070] Opcionalmente, el gas ionizador puede ser a la vez un gas reactivo que puede reaccionar con el gas precursor.

[0071] Para resumir, la densificación de las líneas de campo salientes tiene como efecto concentrar más los electrones y los iones en el exterior de la fuente de plasma y cerca del sustrato que se va a revestir. Así a potencia igual, se obtiene un plasma más denso y se acelera el depósito del revestimiento sobre el sustrato.

[0072] Opcionalmente y como se puede ver en la figura 4, la cámara de tratamiento puede contener un imán adicional 11 posicionado enfrente de la apertura 6, cerca del sustrato del lado opuesto a la fuente de plasma. Puede estar incorporado por ejemplo en un rodillo de transporte de cinta 12. Su polo expuesto orientado hacia la fuente de plasma 1 es de polaridad inversa de la de los polos expuestos de los imanes laterales. Este imán adicional permite densificar las líneas de campo externas cerca del sustrato y acelerar así el depósito del revestimiento. No obstante, esta densificación que conlleva un aumento de la temperatura del sustrato, se evitará recurrir a este imán adicional durante el tratamiento de sustratos sensibles a unas temperaturas del orden de unos cientos de grados.

[0073] En el caso en que el imán 11 esté constituido por una sucesión de imanes yuxtapuestos y alineados en el sentido longitudinal de la fuente de plasma, estos estarán dispuestos sobre un soporte magnético 13 de forma que se permita su yuxtaposición.

[0074] Como muestra la figura 5, la fuente de plasma puede funcionar en un equipo de depósito al vacío según un segundo modo. En este caso, la cámara de tratamiento comprende una segunda fuente de plasma que desempeña la función de contraelectrodo.

[0075] La fuente de energía P es entonces una fuente de corriente alterna. Para aumentar la potencia eléctrica de los electrodos de gran dimensión, se pueden sincronizar varias fuentes de energía.

[0076] La fuente de energía P está unida al electrodo 2 de la primera fuente de plasma 1 y al contraelectrodo 2' que es el electrodo de la segunda fuente de plasma 1', funcionando estos dos electrodos alternativamente como:

- fuente de electrones, cuando el electrodo desempeña la función de cátodo,
- y fuente de iones, cuando el electrodo desempeña la función de ánodo, siendo el gas ionizado por los electrones procedente del cátodo expulsado en dirección del cátodo y del sustrato.

[0077] Se habla en este caso de un funcionamiento dual.

[0078] De preferencia, y como se ilustra en la figura 5, las dos fuentes de plasma están soportadas de manera pivotante por un brazo horizontal 14 de tal manera que las dos aperturas 6 estén inclinadas una hacia la otra de un ángulo α formado por los ejes de simetría de las fuentes de plasma. El ángulo α está comprendido entre 20 y 110°, de preferencia entre 40 y 90° y de manera más preferente es de aproximadamente 60°.

[0079] Tal disposición del electrodo y del contraelectrodo tiene la ventaja de concentrar los haces de electrones y el gas precursor en un espacio más confinado. Este confinamiento permite alcanzar más fácilmente la energía de activación del precursor, lo que facilita el depósito.

[0080] Los polos que están situados frente a los imanes laterales del electrodo pueden ser de la misma polaridad que los polos que están situados frente a los imanes laterales del contraelectrodo o alternativamente de polaridad inversa. En este último caso, la continuidad de las líneas de campo entre los dos electrodos facilita el depósito.

[0081] En este segundo modo de funcionamiento, el sustrato 9, ya sea conductor de corriente o aislante eléctrico, está eléctricamente aislado de la fuente de plasma. En el caso en que se trata un sustrato conductor de corriente, el aislamiento eléctrico se garantiza por una puesta a tierra del sustrato 9. Una ventaja de este modo de funcionamiento es permitir el depósito sobre el sustrato de un revestimiento dieléctrico, lo que es difícil de realizar con una fuente de corriente continua. Para tal revestimiento, una simple descarga en corriente continua no puede ser suficiente ya que esta última se apagará rápidamente. En efecto, en el transcurso del depósito la superficie del sustrato se carga bajo el impacto de los iones. Si la superficie es aislante, la carga excedentaria que se genera por los impactos de los iones no puede fluir. Por consiguiente, el plasma se apaga y el depósito no se puede continuar. Esto explica que la pulverización en corriente continua solo se utiliza generalmente para los depósitos de capas conductoras o semiconductoras.

[0082] Los ensayos realizados con unas fuentes de plasma según la invención han permitido mostrar que los imanes centrales y el imán frontal contribuyen significativamente a la densificación de las líneas de campo y, por consiguiente, mejoran la velocidad y la calidad de depósito.

[0083] La figura 6 muestra los resultados de análisis por espectroscopia por transformada de Fourier de depósitos de sílice obtenidos por medio de una fuente de plasma según el estado de la técnica donde se hace variar

la potencia eléctrica (en kW) añadida al flujo de gas precursor (hexametildisiloxano o HMDSO), estando expresado el flujo en cm^3 estándar por segundo (sccm). Los depósitos se han realizado en las condiciones siguientes: gas ionizable O_2 , relación O_2/HMDSO igual a 5, presión de 0,2 mbar, distancia sustrato-fuente de plasma igual a 50 mm. Se puede constatar que, para una proporción O_2/HMDSO reducida, los sílices obtenidos tiene un carácter orgánico (presencia de enlaces $\text{Si}(\text{CH}_3)$ x – pico a 1.270 cm^{-1}) y esto independientemente de la potencia aplicada. Este carácter orgánico no es deseado ya que altera la calidad del revestimiento.

[0084] La figura 7 muestra los resultados de análisis por espectroscopia por transformada de Fourier de depósitos de sílice obtenidos por medio de una fuente de plasma según la invención. Los depósitos se han realizado en las mismas condiciones que los de la figura 6. Se puede constatar que, para unas potencias superiores a 0,2 kW/sccm, los depósitos de sílice obtenidos son inorgánicos (desaparición del pico a 1.270 cm^{-1}) y, por tanto, de mucho mejor calidad.

[0085] Estos resultados ilustran igualmente que la fuente de plasma según la invención permite obtener unos sílices inorgánicos para unos flujos de oxígeno menores y unas presiones superiores a las del estado de la técnica. Esto tiene como ventaja minimizar el flujo de bombeo en la cámara de tratamiento y, por tanto, minimizar el número de bombas necesarias.

[0086] La configuración de la fuente de plasma descrita permite igualmente, con respecto al estado de la técnica, aumentar la tasa de depósito para alcanzar unos rendimientos de depósitos superiores. El rendimiento de depósito puede alcanzar el 80%, netamente superior al estado de la técnica para el cual el rendimiento es del orden del 40-50%. El rendimiento de depósito se define, en el caso de un depósito de sílice, como la proporción de átomos de silicio del HMDSO que se encuentra en la capa de sílice formada.

[0087] Se entiende que la presente invención no está limitada en ninguna forma a las formas de realizaciones descritas más arriba. La invención se define por el alcance de las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Fuente de plasma (1) destinada al depósito de un revestimiento sobre un sustrato (9) y apta para estar unida a una fuente de energía (P) que comprende:
 - a) Un electrodo (2) que delimita una cavidad de descarga (3) que desemboca en una apertura (6) enfrente de la cual puede estar posicionado dicho sustrato, comprendiendo la sección transversal de dicho electrodo una primera y una segunda pared lateral (21, 22) situadas a ambos lados de un fondo (23, 24) provisto de una parte central (25) que sobresale en dicha cavidad de descarga, comprendiendo dicha parte central una primera y una segunda pared central (26, 27) y una punta (28) que une las dos paredes centrales,
 - b) un conjunto magnético (4) situado en la periferia de dicho electrodo y que comprende un conjunto de imanes unidos entre sí por un soporte magnético (46), comprendiendo cada uno de dichos imanes un polo expuesto girado hacia la cavidad de descarga y un polo protegido orientado hacia dicho soporte magnético, comprendiendo dicho conjunto de imanes:
 - i al menos un primer y un segundo imán lateral (41, 42), estando dicho primer imán lateral (41), respectivamente segundo imán lateral (42), dispuesto detrás de dicha primera pared lateral (21), respectivamente segunda pared lateral (22), cerca de dicha apertura (6), estando dichos dos imanes laterales orientados de tal forma que sus polos expuestos sean de la misma polaridad,
 - ii al menos un primer y un segundo imán central (43, 44), estando dicho primer imán central (43), respectivamente segundo imán central (44), dispuesto detrás de dicha primera pared central (26), respectivamente segunda pared central (27), estando dichos dos imanes centrales orientados de tal forma que su polo expuesto sea de polaridad inversa a la de los polos expuestos de los imanes laterales (41, 42),
 - iii al menos un imán frontal (45), dispuesto detrás de dicha punta (28) y orientado de tal forma que su polo expuesto sea de la misma polaridad que la de los polos expuestos de los imanes laterales (41, 42),
 - c) un recinto eléctricamente aislante (5) dispuesto de modo que rodee el electrodo y los imanes sin tapar dicha apertura.
2. Fuente de plasma de acuerdo con la reivindicación 1, para la cual la apertura (6) tiene el mismo ancho que la cavidad de descarga (3).
3. Fuente de plasma de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para la cual el soporte magnético (46) presenta la forma de una E cuya barra del medio consta de un extremo alargado de modo que el polo protegido del imán frontal (45) esté completamente en contacto con el soporte magnético.
4. Fuente de plasma de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para la cual el soporte magnético (46) está formado por una sola pieza.
5. Fuente de plasma de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además un medio de refrigeración (7) de los imanes y del electrodo.
6. Fuente de plasma de acuerdo con la reivindicación 5, para la cual el medio de refrigeración (7) comprende un espacio proporcionado entre el electrodo y el conjunto magnético y destinado a la circulación de un fluido portador de calor.
7. Fuente de plasma de acuerdo con la reivindicación 5, para la cual el medio de refrigeración (7) comprende un circuito de tubuladuras.
8. Fuente de plasma de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además un medio de inyección (8) destinado a inyectar un gas ionizable en la cavidad de descarga (3).
9. Fuente de plasma de acuerdo con la reivindicación 8, para la cual el medio de inyección (8) está posicionado cerca del fondo (23, 24).
10. Equipo de depósito al vacío que comprende una fuente de plasma de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 9.
11. Equipo de depósito al vacío de acuerdo con la reivindicación 10 que comprende además una segunda fuente de plasma (1) según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 9, estando destinadas las dos fuentes de plasma a un funcionamiento dual.

12. Equipo de depósito al vacío de acuerdo con la reivindicación 11, para el cual los ejes de simetría de las dos fuentes de plasma forman un ángulo α comprendido entre 20 y 110°.

5 13. Equipo de depósito al vacío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 ó 12, para el cual los polos que están frente a unos imanes laterales (41, 42) de la primera fuente de plasma son de polaridad inversa a la de los polos que están frente a unos imanes laterales (41, 42) de la segunda fuente de plasma.

14. Equipo de depósito al vacío de acuerdo con una de las reivindicaciones de 10 a 13 que comprende
10 además un inyector (10) de gas precursor.

15. Equipo de depósito al vacío de acuerdo con una de las reivindicaciones de 10 a 14, que comprende además un imán adicional (11) posicionado enfrente de la apertura (6) y destinado a encontrarse cerca del sustrato (9) del lado opuesto a la fuente de plasma (1) y de polo orientado hacia la fuente de plasma (1) de polaridad inversa
15 a la de los polos que están frente a unos imanes laterales (41, 42).

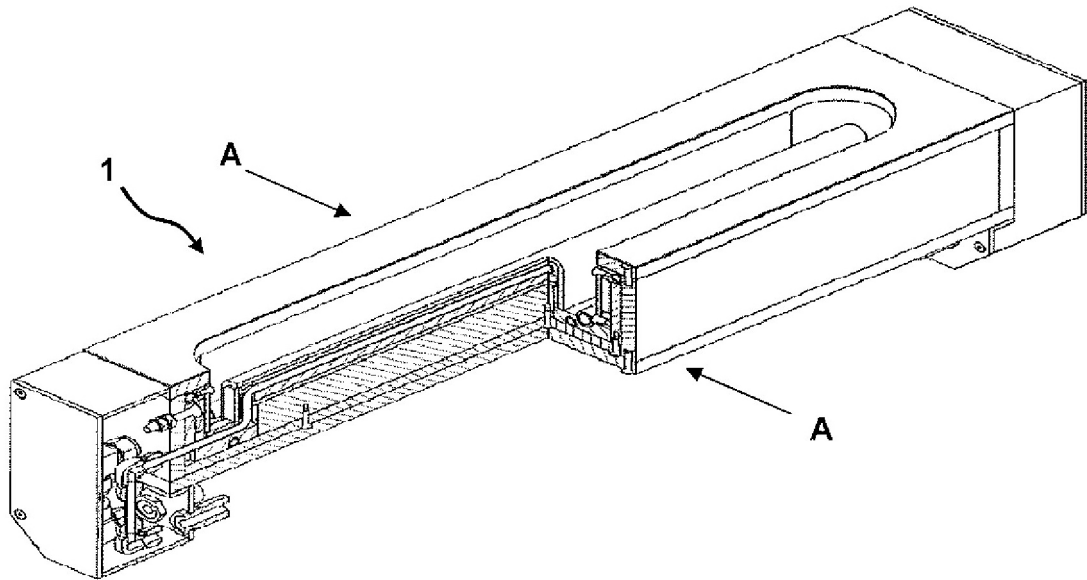


Figura 1

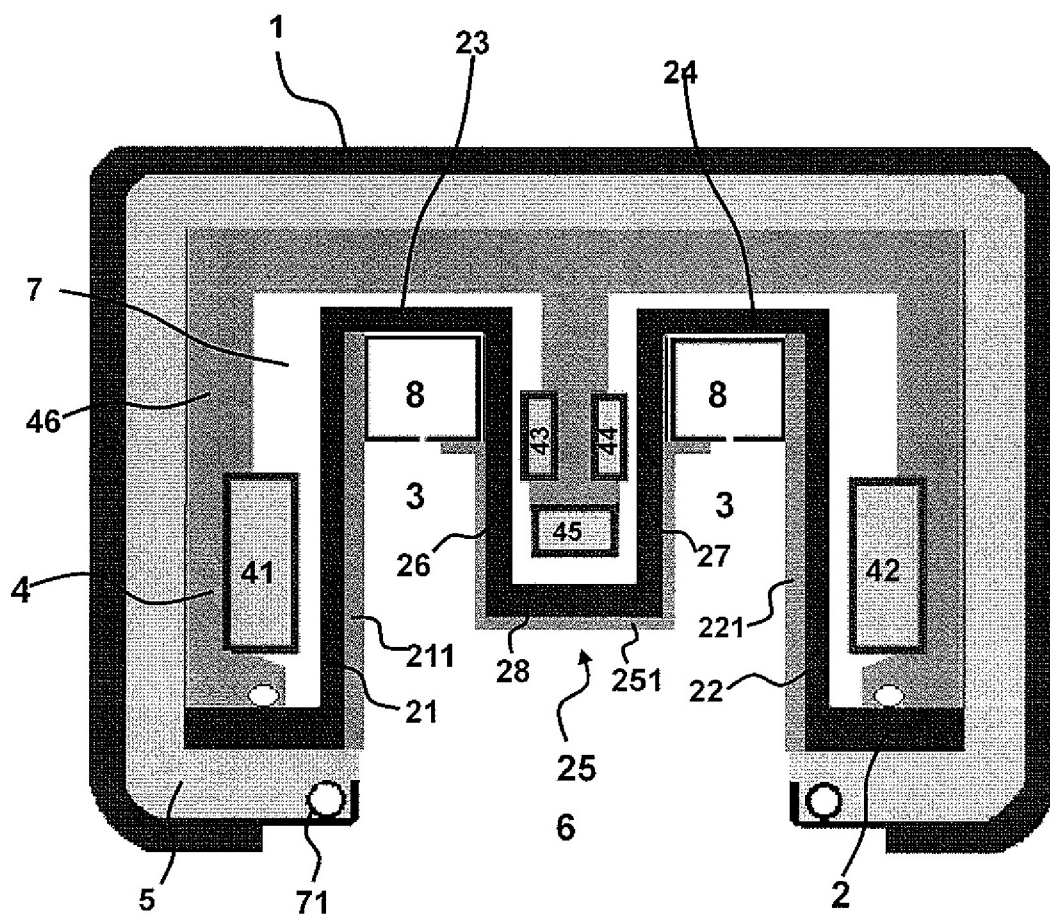


Figura 2

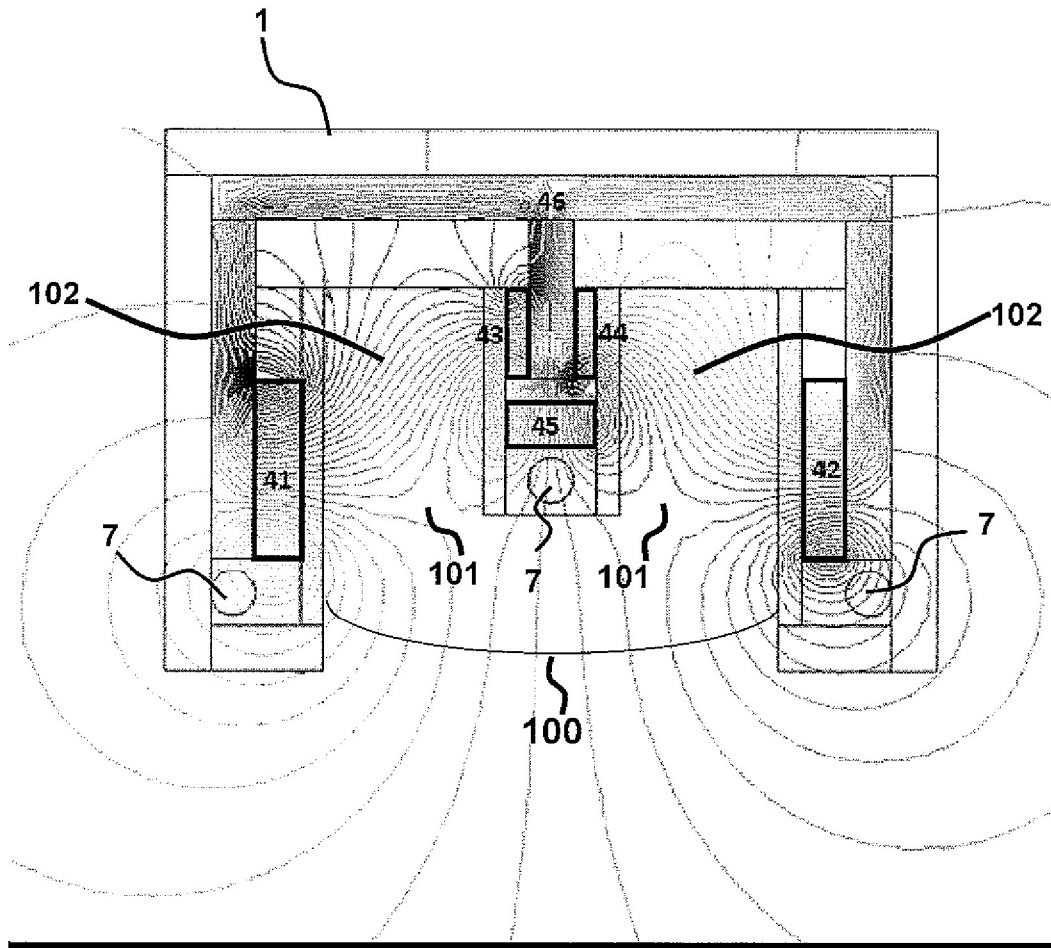


Figura 3

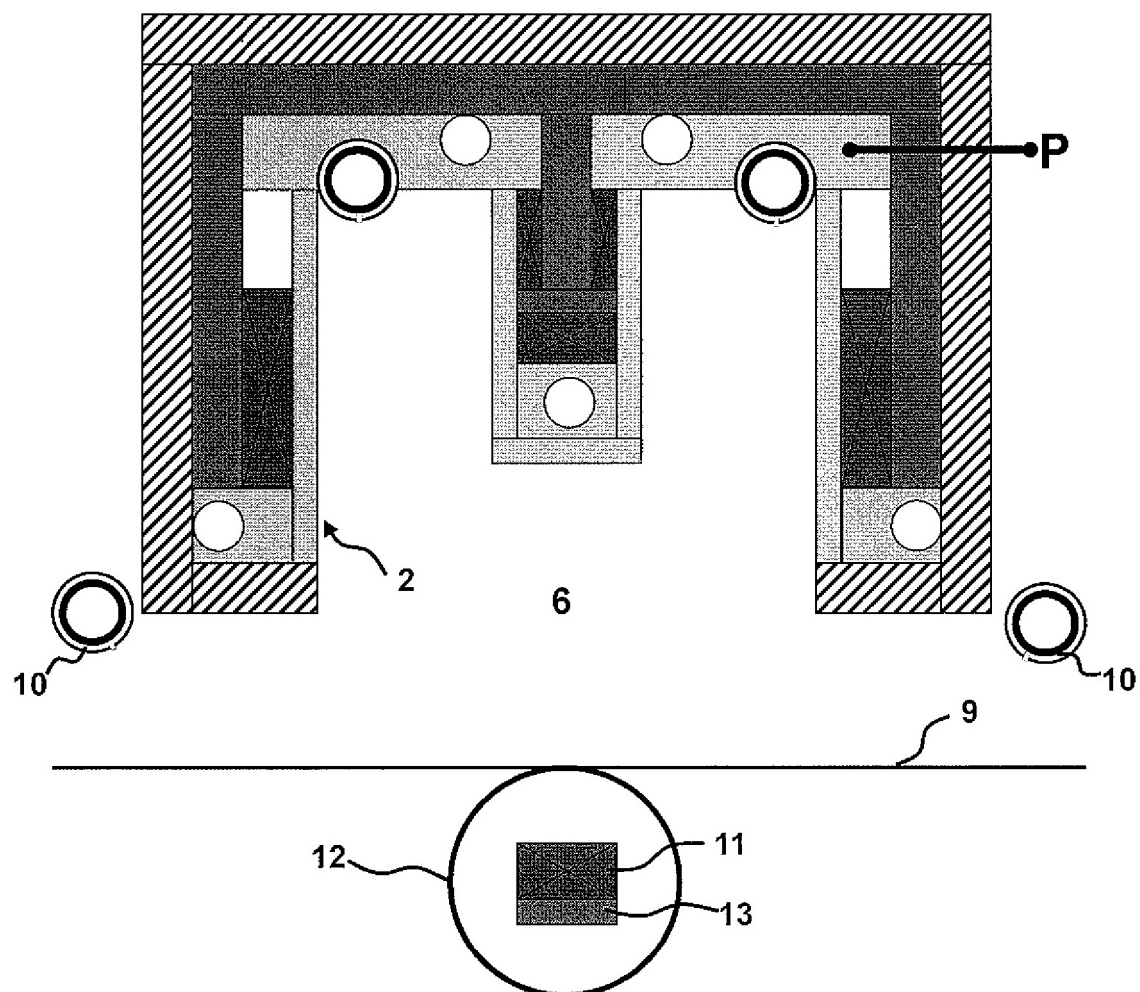


Figura 4

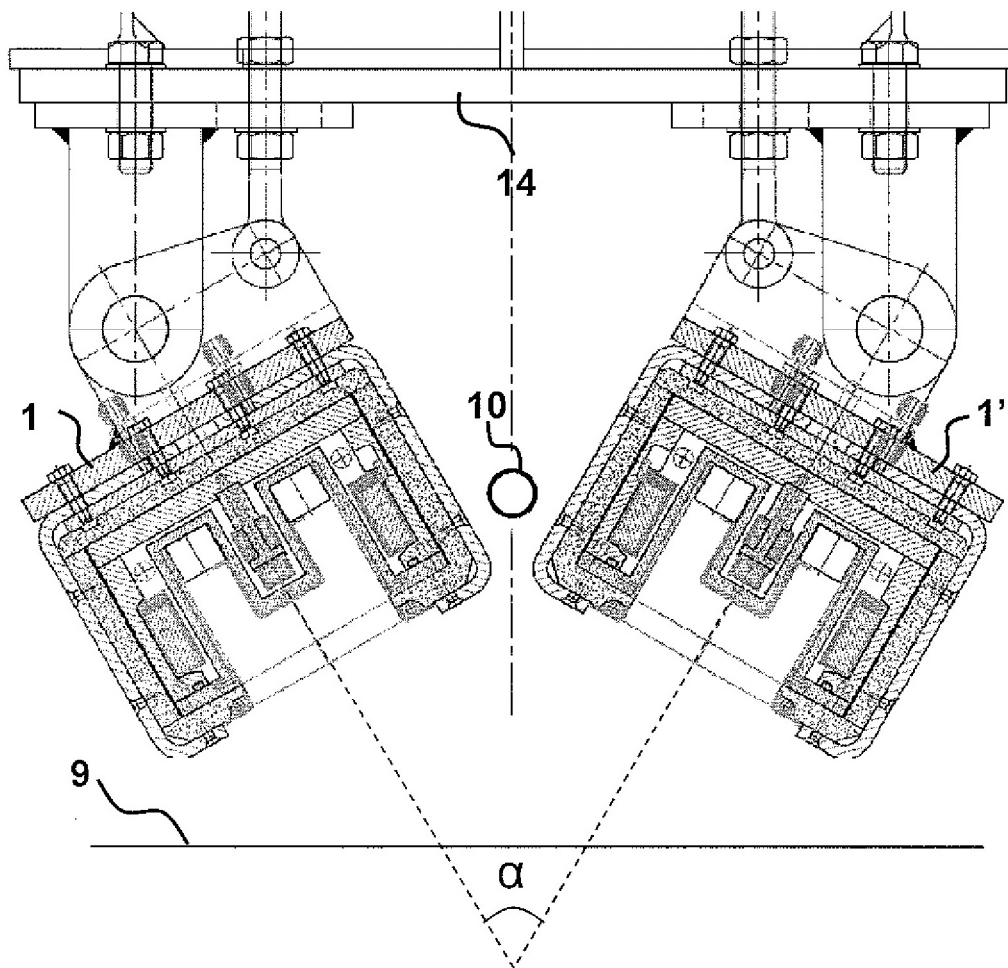


Figura 5

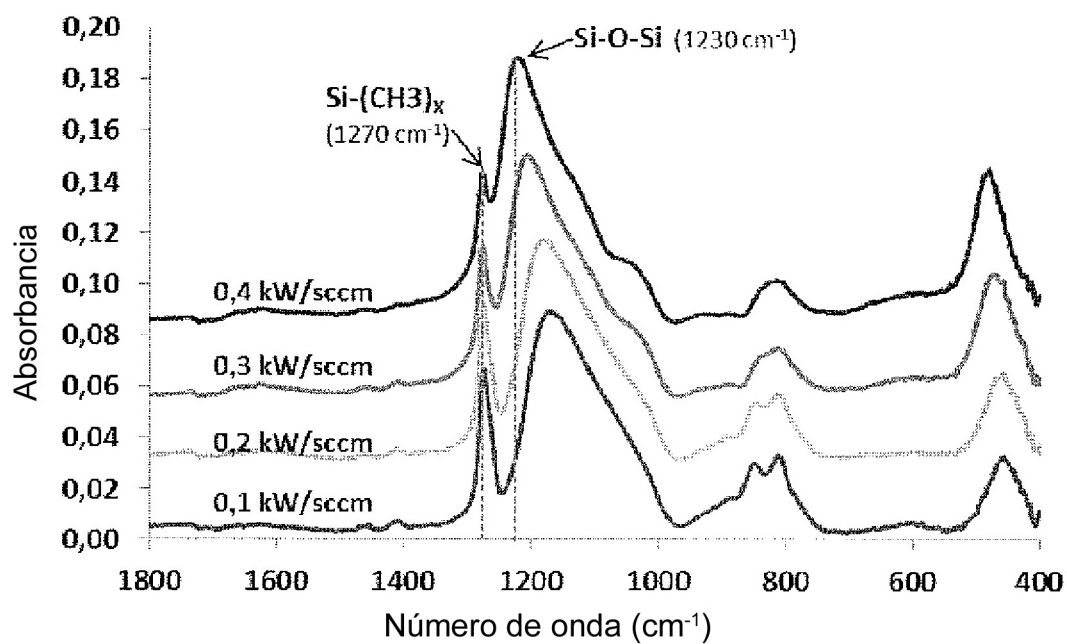


Figura 6

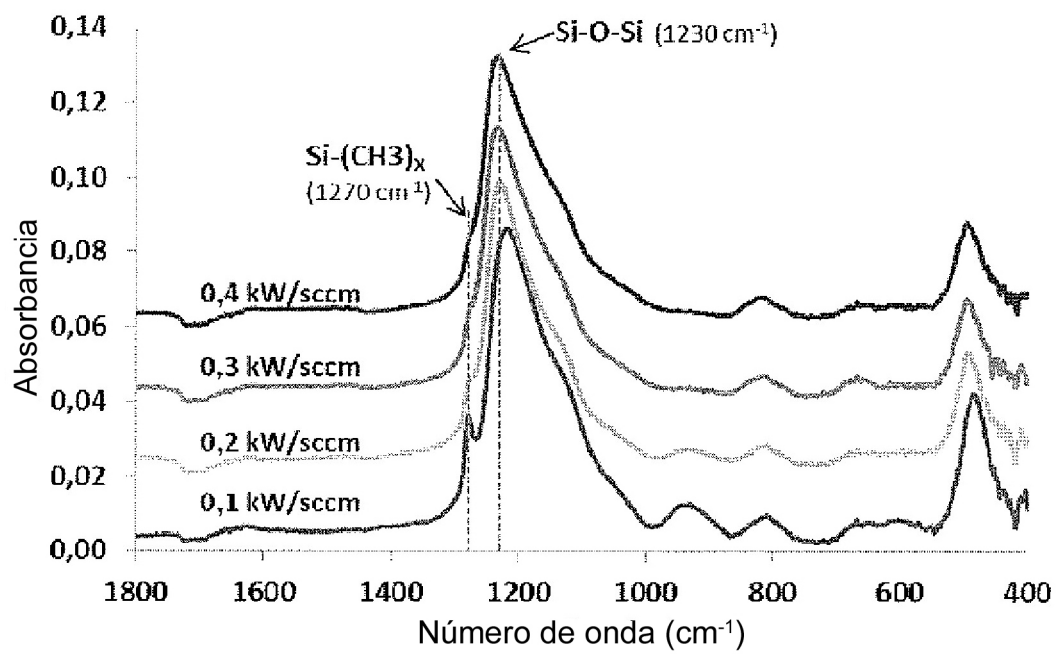


Figura 7