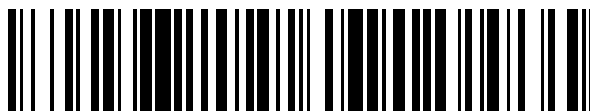


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 641**

51 Int. Cl.:

H01J 37/34 (2006.01)

C23C 14/35 (2006.01)

C23C 14/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2005** **E 05254602 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017** **EP 1628323**

54 Título: **Ánodo para revestimiento por pulverización**

30 Prioridad:

20.08.2004 US 603211

07.03.2005 US 74249

08.07.2005 US 177465

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
25.07.2017

73 Titular/es:

VIAVI SOLUTIONS INC (100.0%)

430 N. McCarthy Boulevard

Milpitas, CA 95035, US

72 Inventor/es:

OCKENFUSS, GEORG J.;

TILSCH, MARKUS K.;

SEDDON, RICHARD I. y

HAHN, ROBERT E.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 626 641 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

Ánodo para revestimiento por pulverización

Campo de la invención

- 5 Esta invención se refiere a un dispositivo de pulverización y un método para depositar películas sobre un sustrato, y más particularmente a un dispositivo de pulverización por magnetrón reactivo y la técnica para depositar materiales sobre sustratos en la que las películas depositadas tienen una distribución de grosor predictiva y en la que el dispositivo puede operar de forma continua y repetida durante periodos muy largos.

Antecedentes de la invención

- 10 En un procedimiento de deposición por pulverización se crean generalmente iones por colisiones entre átomos de gas y electrones en una descarga luminiscente. Los iones se aceleran en el cátodo diana mediante un campo eléctrico que hace que los átomos del material diana sean eyectados de la superficie del cátodo. Un sustrato se coloca en una localización adecuada de forma que intercepta una parte de los átomos eyectados. Por lo tanto, se deposita un revestimiento del material diana sobre la superficie del sustrato.

- 15 El revestimiento por pulverización es una técnica ampliamente utilizada para depositar una película fina sobre un sustrato. La pulverización es la eyección física de material de una diana como resultado de un bombardeo de la diana con iones gaseosos. En una forma de esta técnica, conocida como pulverización por CC, iones positivos de una descarga de plasma formada entre un ánodo y un cátodo diana son atraídos hacia el cátodo diana y se estrellan contra él, desalojando átomos de la superficie diana del cátodo que proporciona de esta manera átomos. Algunos de los átomos desalojados impactan sobre la superficie del sustrato y forman un revestimiento. En la pulverización reactiva, también hay presente una especie gaseosa en la superficie del sustrato y reacciona con, y en algunos modos de realización se combina con, los átomos de la superficie diana para formar el material de revestimiento deseado.

- 25 El material pulverizado también se deposita sobre cualquier otra superficie expuesta a los átomos pulverizados. En la técnica anterior se reconoce que si el revestimiento es un material aislante eléctrico, tal como un óxido metálico, la acumulación del material sobre otras partes del dispositivo de pulverización puede producir problemas. En particular, la acumulación de un revestimiento aislante sobre el ánodo interfiere con la capacidad del ánodo para retirar electrones del plasma, como es necesario para mantener el equilibrio de carga del plasma. Esto desestabiliza el plasma e interfiere con el control de la deposición. Como resultado, es común usar una técnica de pulverización diferente, por ejemplo pulverización por RF, para depositar capas de materiales aislantes. Sin embargo, la pulverización por RF es un procedimiento menos eficaz, menos controlable, más lento y más caro que la pulverización por CC.

- 30 En la operación, cuando se introduce el argón en la cámara de revestimiento, el voltaje de CC aplicado entre el cátodo diana y el ánodo ioniza el argón para formar un plasma y los iones de argón cargados positivamente son atraídos hacia la diana cargada negativamente. Los iones impactan la diana con una energía considerable y hacen que los átomos o grupos atómicos de la diana sean pulverizados desde la diana. Parte del material de la diana pulverizado impacta y se deposita sobre el disco o el material del sustrato que debe ser revestido, formando de esta forma una película.

- 35 Con el fin de alcanzar tasas de deposición aumentadas y presiones de operación menores se han usado dianas mejoradas magnéticamente. En un magnetrón plano, el cátodo incluye una red de imanes permanentes dispuestos en un bucle cerrado y montados en una posición fija con respecto a la placa diana plana. El campo magnético resultante hace que los electrones viajen en un bucle cerrado, denominado generalmente "pista de carreras", que establece el camino o región en la que tiene lugar la pulverización o la erosión del material diana. En un cátodo de magnetrón, un campo magnético confina el plasma de descarga luminiscente y aumenta la longitud del camino de los electrones que se mueven bajo la influencia del campo eléctrico. Esto produce un aumento de la probabilidad de colisión átomo de gas-electrón produciendo de este modo una tasa de pulverización mucho mayor que la obtenida sin el uso del confinamiento magnético. Además, el procedimiento de pulverización se puede realizar a una presión de gas mucho menor.

- 40 Como se ha mencionado en la parte anterior de la presente memoria, en la pulverización reactiva con CC un gas forma un compuesto con el material que es pulverizado desde la placa diana. Cuando la placa diana es de silicio y el gas reactivo es oxígeno, se forma dióxido de silicio sobre la superficie del sustrato. Sin embargo, como el dióxido de silicio es un buen aislante, se forma rápidamente una película suficientemente gruesa como para producir la formación de arco sobre la superficie diana en áreas fuera de la "pista de carreras" y en otras superficies cercanas, p. ej. en apantallamientos de espacio oscuro conectados a masa. Se sabe que el dióxido de silicio es uno de las películas dieléctricas más difíciles de depositar por pulverización reactiva por magnetrón debido a esta característica. La formación de arco asociada con el dióxido de silicio ha evitado que la pulverización reactiva por magnetrón plano sea usada eficazmente para depositar películas de dióxido de silicio de alta calidad. Un aspecto de esta invención proporciona un cátodo revestido que tiene las superficies laterales e inferior revestidas con un dieléctrico para disminuir o evitar la formación de arco.

Durante el funcionamiento, debido a la acumulación de material dieléctrico sobre varias superficies internas de la cámara de revestimiento, ha sido necesario limpiar el sistema de forma regular. Ciertamente, durante el revestimiento con dióxido de silicio o nitruro de silicio por pulverización reactiva, los sistemas habituales solo pueden operar de forma continua durante periodos de tiempo relativamente cortos.

- 5 Finalmente, otra limitación del uso de los magnetrones planos y cilíndricos en pulverización bien reactiva o bien no reactiva, es que las películas depositadas por pulverización no alcanzan el elevado grado de uniformidad o repetibilidad necesario para muchas aplicaciones de precisión.

Ha habido muchos intentos de mejorar estos efectos no deseados de los sistemas de pulverización con magnetrón. Por ejemplo, se han propuesto los ánodos "escobillón" y se han descrito en la patente de estados unidos 5.683.558 de Sieck *et al.*, presentada el 4 de noviembre de 1997. Este tipo de ánodo proporciona de forma ventajosa una gran superficie pero, dependiendo de su posición con respecto a la diana, se reviste de forma no uniforme con el paso del tiempo y hace que el ánodo se mueva hacia otras superficies en el sistema de deposición. Adicionalmente, la distancia entre las púas del escobillón es muy pequeña y a menudo lleva a un voltaje del ánodo aumentado, especialmente a baja presión.

- 10 Los diseños de los anillos y las placas del ánodo han sido descritos por F. Howard Gillery *et al.*, PPG Industries Inc., en la patente estadounidense 4.478.702 titulada "*Anode for magnetic sputtering apparatus*" y en la patente estadounidense 4.744.880 titulada "*Anode for magnetic sputtering of gradient films*" y por P. Sieck en "*Effect of Anode Location on Deposition Profiles for Long Rotatable Magnetrons*", SVC, 37th Annual Technical Conf. Proceed. 233 (1994).

- 20 Los diseños de las placas y anillos de ánodo descritos por J. R. Doyle *et al.* en *J. Vac. Sci. Technol.* A1 2, 886 (1994) son los diseños para ánodos más ampliamente utilizados. Típicamente, el ánodo está muy próximo al cátodo para permitir un acoplamiento suficiente del ánodo al plasma catódico. Lo más a menudo, la entrada de gas está cercana a la superficie de la diana para aumentar localmente la presión en la diana. La mayor parte del tiempo la superficie del ánodo también está cercana a este lugar lo que aumenta el acoplamiento del plasma y disminuye el voltaje del ánodo. Desafortunadamente, estos tipos de ánodos no pueden posicionarse demasiado lejos detrás del cátodo porque los electrones deben atravesar las líneas de campo magnético en el camino hacia el ánodo lo que añade una elevada resistencia y aumenta el voltaje del ánodo. Por otra parte, tener el ánodo cercano a la superficie del cátodo aumenta la susceptibilidad del ánodo a ser revestido con material pulverizado haciendo de este modo que el ánodo sea inestable.

- 30 Se sabe cómo situar al ánodo muy próximo a otras fuentes de plasma fuera de la línea de visión directa del cátodo. Este enfoque funciona para revestimientos relativamente delgados, por ejemplo revestimientos de menos de 5 μm , pero para películas más gruesas el ánodo se reviste también debido a la dispersión del gas. Esto hace necesario cambiar rutinariamente los ánodos lo que aumenta el tiempo del ciclo de revestimiento y añade costes.

- 35 Una desventaja de los enfoques mencionados anteriormente es que el tamaño de los ánodos debe ser relativamente grande para funcionar con un voltaje razonablemente bajo. El tamaño grande lleva a una contaminación irregular de la superficie del ánodo y a un cambio en la distribución de la pulverización. Además, un ánodo grande se debe alojar dentro de la cámara de revestimiento donde habitualmente falta espacio.

- Otra forma de ánodo de la técnica anterior es el ánodo similar a un filamento pequeño. Este ánodo requiere voltajes relativamente elevados, por ejemplo mayores de 70 V, lo que habitualmente lleva a pulverización no deseable de las superficies en el ánodo o cercanas a él. El ánodo debe ser situado muy cercano al cátodo para tener un acoplamiento suficiente. Adicionalmente, generalmente se deben realizar cambios importantes en el magnetrón desviando los campos magnéticos cercanos al ánodo.

La pulverización por magnetrón dual con CA ha sido propuesta por S. Schiller, K. Goedicke, V. Kirchhoff, T. Kopte en "*Pulsed Technology – a new era of magnetron sputtering*", 38th Annual Technical Conference of SVC, (1995).

- 45 Este enfoque resuelve inherentemente el movimiento del ánodo y hace que desaparezcan los problemas de algunos de los ánodos de la técnica anterior mencionados anteriormente, pero las tasas de pulverización son generalmente menores y la pulverización por CA necesita una presión mayor para funcionar a voltajes del cátodo aceptables de aproximadamente 900 V o más. Esto aumenta la dispersión del gas del material pulverizado y por lo tanto el crecimiento de defectos en las películas depositadas. Pero incluye para un voltaje medio "bajo", el voltaje de pico en este procedimiento es muy elevado y a menudo mayor de 1.000 V y lleva a una tensión de compresión aumentada en el revestimiento. El elevado voltaje es producido por la ignición del plasma cada mitad del ciclo en cada cátodo.

- 55 El enfoque muy reciente de pulverización por magnetrón de ánodo dual para resolver los problemas del ánodo utiliza una configuración con CA con ánodo dual. Los ensayos preliminares mostraron que los ánodos deben estar muy acoplados en el plasma del cátodo. Por lo tanto, deben estar situados muy cerca del cátodo. Debido a que el ánodo alcanza voltajes negativos muy elevados, esto produce pulverización del ánodo durante el ciclo de limpieza. En un documento titulado "*Redundant Anode Sputtering: A Novel Approach to the Disappearing Anode Problem*", publicado en internet en la página web siguiente: <http://www.advanced-energy.com/upload/white2.pdf>, se mencionan varias desventajas de la pulverización con CA con cátodo dual.

Como el ánodo está generalmente cercano a la diana, está expuesto al material de revestimiento. En la práctica, en muchos de los sistemas de la técnica anterior, se deben cambiar o limpiar los ánodos en intervalos frecuentes regulares. Incluso cuando el ánodo está fuera de la línea de visión directa del flujo de material pulverizado, el ánodo se reviste debido a la dispersión del gas del material de revestimiento.

- 5 Los documentos DE4306611A1, WO89/03584A, US3916034A, US3616452A1, EP308680A y WO01/98553A1 describen todos ellos varios dispositivos de pulverización que comprenden características según el preámbulo de la reivindicación 1.

- 10 Un objetivo de esta invención es proporcionar un ánodo que está extremadamente bien apantallado del material de revestimiento. La provisión de dicho ánodo proporciona un procedimiento de pulverización más estable, especialmente para revestimientos muy gruesos, y reduce o elimina el mantenimiento del ánodo. Esto reduce el tiempo del ciclo y los costes de trabajo de los sustratos revestidos.

Un objetivo adicional de esta invención es proporcionar un ánodo que pueda ser presurizado y que requiera un voltaje menor que muchos ánodos de la técnica anterior. Aunque el ánodo puede ser presurizado, opera dentro de o en comunicación con una cámara a vacío.

- 15 Un objetivo adicional de esta invención es proporcionar un ánodo en el que no se produzca formación de arco, o ésta sea pequeña, en o cerca del ánodo.

Todavía es otro objetivo principal de esta invención proporcionar un cátodo preferido para usarlo con el ánodo de esta invención.

- 20 Un objetivo adicional de esta invención es proporcionar un cátodo de magnetrón nuevo en el que algunos lados están revestidos con un material eléctricamente aislante, tal como un material dieléctrico.

Compendio de la invención

Según la invención, se proporciona un dispositivo de pulverización según se define en la reivindicación 1.

Según esta invención se proporciona además un método para controlar la distribución del material de revestimiento en un dispositivo de pulverización por CC según se define en la reivindicación 19.

25 Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán modos de realización ejemplo de la invención según los dibujos, en los que:

La figura 1a es una vista transversal de una pequeña parte de una cámara de revestimiento según un modo de realización de la invención que incluye un ánodo hueco cilíndrico con una longitud h , diámetro d y una apertura de orificio d_0 en un extremo del ánodo acoplado con una apertura en la cámara de revestimiento.

- 30 La figura 1b es una vista transversal de una cámara de revestimiento según un modo de realización de la invención que incluye un ánodo hueco cilíndrico con una longitud h , diámetro d y una apertura de orificio d_0 en un extremo del ánodo, en la que el ánodo está situado dentro de la cámara de revestimiento.

La figura 1c es un modo de realización alternativo del ánodo en el que la apertura del ánodo está en uno de sus lados o en el extremo del ánodo.

- 35 La figura 2 es una gráfica que muestra la dependencia del voltaje del ánodo con el tamaño del ánodo.

La figura 3 es una gráfica que muestra el efecto del voltaje del ánodo frente a la distancia de una superficie conectada a masa cerca del ánodo alimentado.

La figura 4 es una gráfica que muestra la dependencia con la presión del voltaje del ánodo en la que la flecha con dos puntas indica la región de presión en un procedimiento típico de pulverización.

- 40 La figura 5 es una gráfica que muestra el voltaje del ánodo frente al área de la apertura del ánodo en la cámara para dos flujos de gas diferentes en el ánodo; y

La figura 6 es una gráfica que compara el voltaje del ánodo frente al tiempo para un ánodo de cobre y un ánodo de acero inoxidable.

- 45 La figura 7 es una vista transversal de un ánodo según un modo de realización de esta invención en el que el ánodo está conectado con una fuente de alimentación.

La figura 8 es un diagrama de un dispositivo de revestimiento que tiene dos ánodos montados externamente según un modo de realización de esta invención.

La figura 9 es una gráfica que describe la desviación estándar del espesor óptico de SiO₂ de cinco pasadas de revestimiento consecutivas medido en diferentes posiciones verticales en un dispositivo de revestimiento MetaMode™ sin ánodo ilustrado por el gráfico sólido negro y de cinco pasadas de revestimiento con 2 ánodos alimentados como se muestra por los símbolos grises huecos.

- 5 La figura 10a es una vista de planta de un dispositivo de revestimiento que tiene múltiples ánodos y un cátodo alargado según un modo de realización de la invención.

La figura 10b es una vista posterior del dispositivo de revestimiento mostrado en la figura 10a en el que el cátodo alargado es cilíndrico.

- 10 La figura 10c es una vista posterior del dispositivo de revestimiento de la figura 10a en el que el cátodo es un cátodo plano.

La figura 11 es una vista de un cátodo preferido que tiene sus lados, excepto el lado diana, aislados con un aislante dieléctrico adyacente a un ánodo dispuesto dentro de una cámara de revestimiento según un modo de realización de esta invención.

- 15 La figura 12 es una vista del cátodo enfrentado a una disposición de sustratos en diferentes posiciones opuestas dentro de la línea de visión del cátodo.

La figura 13 es una vista lateral de un modo de realización de la invención en el que el cátodo está sellado parcialmente dentro y tiene una parte parcialmente exterior a la cámara de vacío; y en el que la parte dentro de la cámara de vacío tiene sus lados revestidos con un material aislante, tal como alúmina.

Descripción detallada

- 20 Con respecto ahora a la figura 1a, se muestra un ánodo 10 en forma de un contenedor o recipiente que tiene paredes conductoras 12 de cobre o acero inoxidable que tienen una apertura 14 en un primer extremo para comunicar con una cámara de vacío a la que está acoplado directamente. Las paredes de cobre o acero inoxidable definen el interior del recipiente contenedor o el cuerpo interior del contenedor. Las paredes exteriores del contenedor se denominan el cuerpo exterior en la parte siguiente de la presente memoria. El cuerpo exterior puede este estar revestido con un revestimiento adecuado de forma que esté aislado eléctricamente. En la vista
- 25 transversal, se muestran tuberías 16 de enfriamiento por agua esencialmente alrededor del ánodo para mantener la temperatura del ánodo durante el funcionamiento. Se muestra una válvula 18 de admisión de gas para proporcionar un conducto por el que puede entrar gas en la cavidad anódica para presurizar el ánodo. Una cubierta 21 conectada a masa está colocada alrededor del ánodo y de las tuberías de enfriamiento y tiene el potencial a masa. Durante la
- 30 operación, el ánodo se presuriza con gas argón que facilita la formación de plasma en presencia de un voltaje de ignición adecuado y el mantenimiento del voltaje a continuación. El ánodo 10 es esencialmente un contenedor conductor, que en un modo de realización preferido está montado en la cámara de vacío; alternatively, puede encontrarse dentro de la cámara de vacío. El ánodo mostrado en la figura 1a fue diseñado para funcionar con un bajo voltaje de ánodo y con una pequeña o nula formación de arco. Se prefiere un voltaje de ánodo bajo de
- 35 aproximadamente 30 voltios para reducir las variaciones en el procedimiento.

- Con respecto ahora a la figura 1b, se muestra un ánodo similar al mostrado en la figura 1a, en el que se muestra el cuerpo completo del ánodo dispuesto dentro de una cámara de revestimiento a vacío y en el que la apertura 14b que tiene un diámetro d_0 para comunicar con el plasma del cátodo diana en la cámara de vacío. Se muestra que la tubería 16b de enfriamiento por agua tiene una válvula de admisión y una de escape que entran y salen del exterior de la cámara. Se muestra la válvula 18b de Ar gas para comunicar con el ánodo y suministrar al ánodo gas desde el exterior de la cámara de vacío. Un aislante 19b asegura que el ánodo está eléctricamente aislado de la pared de la cámara y se muestra una fuente de alimentación para proporcionar una diferencia de voltaje entre el ánodo y el cátodo o el material del cátodo dentro de la cámara.
- 40

- La figura 1c muestra un modo de realización alternativo en el que un ánodo que tiene paredes 12c de cobre tiene una apertura 14c en una localización diferente que es en el lateral del cilindro. En este modo de realización, el ánodo puede estar montado dentro o fuera de la cámara de vacío. Se proporcionan las tuberías 16c de enfriamiento por agua y la válvula 18c de gas Ar.
- 45

- Con respecto a la figura 7, se muestra la circuitería que permite tres modos distintos de operación del ánodo 70. El interruptor 72 permite la selección conmutable entre operación con voltaje "flotante", "conectado a tierra" y "polarizado". En la operación con voltaje flotante, el potencial del ánodo con respecto al potencial de masa es autoajutable. En este caso el voltaje del ánodo depende de la impedancia del plasma. Para la pulverización con CC, se mide el voltaje del ánodo habitual que es entre +20 V y +55 V, mientras que el voltaje del cátodo puede ser cualquiera entre -300 V y -700 V, dependiendo de qué materiales están siendo revestidos y qué parámetros de procedimiento se utilizan. A veces se proporciona un resistor entre la masa y el ánodo para proteger el sistema en
- 50
- 55 caso de una ruptura eléctrica catastrófica o arco.

En el modo de operación conectado a masa, el ánodo se conecta a la masa de la cámara. Para ser el camino de retorno preferido de los electrones, el ánodo necesita tener una conductividad superior sobre los otros componentes de la cámara conectados a masa. Alimentar el gas del procedimiento en el ánodo disminuye la impedancia del plasma al ánodo.

- 5 En el modo de operación con voltaje polarizado, se determina el potencial del ánodo con respecto a la masa mediante una fuente de alimentación. Un intervalo de voltaje de +20 a +55 V hace que el ánodo sea el camino de retorno preferido para los electrones manteniendo una operación constante y repetible.

- 10 Para minimizar el voltaje del ánodo en el modo flotante preferido, se necesita un área superficial del ánodo mínimo como se muestra en la figura 2. Adicionalmente, las superficies conectadas a masa tienen un mayor impacto sobre la impedancia del plasma y por lo tanto sobre el voltaje del ánodo. Los resultados de los experimentos mostrados en la figura 3 muestran que la superficie conectada a masa más próxima debe estar separada al menos 25 mm para esta serie de parámetros de procedimiento específicos.

La dependencia con la presión del voltaje del ánodo se muestra en la figura 4. Las flechas indican que la presión de pulverización no coincide siempre con la presión óptima para el ánodo alimentado.

- 15 Los parámetros óptimos del ánodo, es decir el área, la distancia al ánodo conectado a masa y la presión, llevan a un modo de realización en el que la superficie del ánodo está dentro de un contenedor o recipiente. En este modo de realización preferido, el ánodo comprende un tubo con un diámetro de al menos $d = 10$ cm y una longitud de al menos $h = 20$ cm como se muestra en la figura 1.

- 20 Para procedimientos de deposición de películas con baja pulverización la presión de la cámara está por debajo de 2 mtorr. Se obtiene una presión elevada en el ánodo reduciendo el orificio o apertura 14 del ánodo 10 y alimentado el gas de procedimiento en el ánodo a través de la válvula de admisión 18. Como los orificios pequeños constriñen el plasma produciendo una reducción de la conductividad eléctrica y, por lo tanto, un aumento del voltaje del ánodo, se descubrió que una apertura óptima tiene un área de aproximadamente 20 cm^2 y es preferiblemente redondo. Esta relación se describe en la figura 5.

- 25 El ánodo puede elaborarse con una gran variedad de materiales conductores. El impacto del material del ánodo en el voltaje del ánodo se muestra en la figura 6. Esta gráfica muestra que el cobre produce un voltaje del ánodo 2 V inferior que el acero inoxidable.

- 30 Como el ánodo puede ser montado fuera de la cámara de vacío, ventajosamente no usa ningún espacio dentro de la cámara de vacío y requiere menos componentes de vacío. A modo de ejemplo, los ánodos convencionales necesitan al menos un pasamuros eléctrico adicional. El ánodo 10 mostrado en la figura 1 está aislado eléctricamente de la cámara conectada a masa por medio de un material aislante 19 mostrado. Esto es importante, ya que se prefiere que el ánodo pueda tener un voltaje flotante libre que será típicamente mayor que el de la pared de cámara conectada a masa.

- 35 Ventajosamente, se pueden montar conexiones pasamuros eléctricas y de paso de agua y líneas de gas 18 desde el exterior.

Cuando el ánodo contenedor se usa como ánodo externo, el grosor de las paredes debe ser suficiente para soportar la presión atmosférica; en el caso en el que el ánodo sirve como ánodo interno, el ánodo puede ser muy delgado con tal de que el ánodo no se vuelva demasiado resistivo eléctricamente.

- 40 Durante el funcionamiento, el ánodo puede ser presurizado a más de 3 mtorr. Se espera que este ánodo 10 pueda funcionar en operación casi continua durante periodos de tiempo extensos; se han realizado experimentos haciendo funcionar este ánodo durante más de 2.000 horas continuamente sin tener que poner el ánodo 10 fuera de servicio para ser limpiado o cambiado, y se cree que es posible hacer funcionar el ánodo durante más de 10.000 horas de operación continua.

- 45 Aunque se prefiere aislar eléctricamente el exterior del ánodo contenedor cuando todo o parte del ánodo está dentro de la cámara de revestimiento, no es absolutamente esencial. Sin ningún aislante en la parte exterior del ánodo, se observó plasma anódico en el orificio y se midió un voltaje de ánodo bajo. Como el exterior del ánodo puede actuar como ánodo cuando no está aislado, es muy probable que se revista a lo largo del tiempo, cambiando de esta forma la localización del ánodo lo que afectará la distribución y la tasa de las partículas pulverizadas en el cátodo. Por lo tanto, es preferible aislar eléctricamente la parte exterior del ánodo. El aislamiento de la parte exterior puede ser un revestimiento del cuerpo del ánodo, pero alternativamente puede ser una cubierta 21b adicional como se muestra en la figura 1b. La cubierta 21 puede estar conectada a masa o tener un voltaje flotante.

El nuevo ánodo según esta invención tiene varias ventajas sobre los ánodos conocidos usados en el revestimiento por pulverización:

- 55 a) Según esta invención, el área o superficie activa del ánodo está en el interior de un contenedor que esencialmente protege el ánodo del material pulverizado. Esto contribuye de forma importante a la

estabilidad del procedimiento porque las propiedades de la superficie del ánodo y por lo tanto la localización y conductividad del plasma no cambian durante una pasada de revestimiento y son relativamente constantes de una pasada de revestimiento a otra.

- b) El pequeño orificio o apertura del contenedor reduce además las posibilidades de que el material de revestimiento encuentre su camino hacia la superficie del ánodo. También define muy bien la localización del ánodo.
- c) El pequeño orificio o apertura y la válvula de admisión del gas aumenta localmente la presión dentro del ánodo y reduce de este modo el voltaje del ánodo. La provisión de gas de procedimiento argón en el ánodo aumenta la presión localmente dentro del ánodo y disminuye adicionalmente el voltaje del ánodo sin aumentar significativamente la presión de la cámara.
- d) La gran superficie ($> 1.800 \text{ cm}^2$) del ánodo reduce adicionalmente el voltaje del ánodo.
- e) El ánodo de forma esférica o cilíndrica aumenta el volumen del ánodo y también la distancia entre las superficies del ánodo y elimina las superficies conectadas a masa cerca de la superficie activa del ánodo.
- f) El enfriamiento con agua añade adicionalmente estabilidad al ánodo. Reduce el cambio de comportamiento del ánodo debido a una variación de temperatura externa o debido al excesivo calentamiento del ánodo por una corriente grande en el ánodo.
- g) El ánodo de esta invención usualmente no necesita un segundo plasma, excepto el del cátodo, para trabajar a bajos voltajes.

Nótese que se pueden imaginar otros numerosos modos de realización sin salir del espíritu y del alcance de la invención. Por ejemplo, la figura 8 muestra una de las muchas configuraciones del ánodo posibles para cátodos alargados como el usado en una configuración MetaMode™. En este modo de realización se sitúan dos ánodos 72a y 72b simétricamente a los lados de un cátodo 74 largo plano de Si. Usando esta configuración la variación entre pasadas en lugar de las configuraciones previamente usadas se puede mejorar en una variación estándar $\text{cr} = 1,64\%$ a $0,22\%$. Esto se ilustra en la gráfica mostrada en la figura 9.

En una publicación titulada "*Active Control of Anode Current Distribution for D.C. Reactive Sputtering, of SiO_2 and Si_3N_4* " de P. Sieck publicada en *Surface and Coatings Technology*, 68/69 (1994) 794-798, se describen métodos para controlar la distribución de corriente con respecto a sistemas de revestimiento en línea.

Se cree que la presente invención es aplicable a este y otros de dichos sistemas de revestimiento en línea; por ejemplo, se cree que el uso de ánodos múltiples podría ser usado en dichos sistemas de revestimiento en línea. Por ejemplo, el ánodo hueco descrito hasta ahora según esta invención podría aumentar las prestaciones del esquema de disposición del ánodo en esta publicación de Sieck. Usando el ánodo de esta invención:

- 1) la superficie activa del ánodo está protegida del material de revestimiento,
- 2) las posiciones del ánodo están mejor definidas,
- 3) las entradas de gas están bien definidas.

Dependiendo de la longitud del cátodo y del espacio disponible en la máquina se podrían tener varios ánodos a lo largo del cátodo que bien están controlados eléctricamente o bien cuando el gas fluye a través del ánodo se ajusta a través de la cavidad anódica para controlar la distribución de la pulverización a lo largo de la longitud del cátodo. Dichos ajustes se pueden hacer *in-situ* durante una pasada de revestimiento, por ejemplo, con un bucle de retroalimentación de medidas espectrales *in-situ*.

Con respecto ahora a la figura 10a, se muestra una vista de planta de un dispositivo de revestimiento con un cátodo alargado 101 que tiene ánodos 102 a 107 dispuestos en torno al ánodo. La figura 10b es una vista posterior de la figura 10a en la que el cátodo alargado 101 es un cátodo cilíndrico que tiene entradas de gas 120a y 120b independientes. La figura 10c es una vista posterior de la figura 10a en la que el cátodo es un cátodo plano.

Además de proporcionar un ánodo nuevo e inventivo, la demanda cada vez mayor de baja concentración de defectos en los dispositivos revestidos tales como filtros ópticos, espejos y circuitos semiconductores requiere un cátodo que tenga una formación de arco pequeña o nula, en la diana de pulverización. En la actualidad, en los cátodos comercialmente disponibles y también los diseños de cátodos descritos en la técnica anterior falta esta importante característica, especialmente cuando la tasa de deposición se debe mantener elevada.

Se han propuesto varias soluciones al problema de la formación de arco no deseada, se conocen por ejemplo numerosos diseños de apantallamientos situados alrededor del cátodo. También se han propuesto diferentes disposiciones de imanes para mejorar este problema, pero estas soluciones tienen sus limitaciones y efectos colaterales no deseados.

Ahora se ha descrito un cátodo para usarlo en el revestimiento por pulverización de un material sobre uno o más sustratos. Este cátodo puede ser utilizado junto con el ánodo descrito que esencialmente reduce la formación de arco a cerca de cero o a niveles aceptables que no tienen efectos perjudiciales sobre los sustratos que se van a revestir. El cátodo junto con el ánodo descrito hasta ahora proporciona un sistema de revestimiento que es muy fiable y requiere un tiempo de parada muy pequeño. La combinación del ánodo y el cátodo descritos en la presente memoria proporciona un mecanismo de revestimiento que no es superada por ninguna otra cámara de revestimiento conocida.

Se han propuesto varios diseños de la técnica anterior para disminuir la pulverización no deseada en los laterales del cátodo; por ejemplo, proporcionar apantallamientos aislados eléctricamente y varias otras formas de apantallamiento; no obstante, la mayoría de ellos no son satisfactorios. Un sistema conocido se describe en la patente de Estados Unidos 5.851.365. Los sistemas de este tipo generalmente proporcionan un apantallamiento de espacio oscuro que cubre parte de la superficie diana para evitar la pulverización desde los accesorios de montaje de la diana. Esto produce habitualmente que una cantidad esencial de revestimiento se deposite sobre el borde del apantallamiento. En la patente estadounidense 5.851.365 se dirigió muchísimo esfuerzo en la forma del apantallamiento, pero después se encontró que parte del revestimiento se acumularía y eventualmente caería de nuevo sobre la diana produciendo formación de arco lo que produciría un aumento de defectos en el sustrato revestido. Esto es un problema significativo especialmente para un sistema de bloqueo de carga en el que el objetivo es mantener el dispositivo a vacío durante un tiempo tan largo como sea posible. Con la acumulación de revestimiento sobre el lado inferior del apantallamiento de espacio oscuro y del material re-depositado sobre la superficie diana, el espacio oscuro disminuye y comienza la pulverización del material aislante lo que puede llevar a una producción de arco sustancial y significativa.

Se han propuesto otras soluciones de apantallamiento, por ejemplo la patente estadounidense 5.334.298 proporciona un cátodo y un apantallamiento en los que las áreas marginales de la diana que quedan fuera de la zona de erosión están cubiertas por una extensión del apantallamiento de espacio oscuro. En este modo de realización, el apantallamiento de espacio oscuro tiene un voltaje flotante y está separado de la diana por un espacio que es tan grande que el plasma no puede inflamarse entre la diana y el apantallamiento de espacio oscuro. Aunque esta disposición parece proporcionar algunas ventajas sobre otras, es específica del material pulverizado y por lo tanto es relativamente costosa de implementar.

Ahora se describe una solución más elegante que es relativamente barata de implementar ya que se ha encontrado que funciona para múltiples materiales pulverizados y se cree que es superior a otras soluciones de la técnica anterior.

Volviendo ahora a la figura 11, se muestra un cátodo 130 con un ánodo 140, en el que se alimenta gas en la cámara, fuera del cátodo a través del ánodo. Esto evita alta presión cerca del cátodo donde el campo magnético es elevado. Preferiblemente, la apertura del ánodo esté separado al menos a 2 pulgadas (5,08 cm) del cátodo para permitir una distribución de presión uniforme sobre el área de la diana. Se ha encontrado que el voltaje del ánodo no depende de la distancia entre el ánodo y el cátodo. Como este modo de realización no requiere un apantallamiento de espacio oscuro, esto elimina que las escamas del revestimiento caigan sobre las dianas desde un apantallamiento de espacio oscuro que habitualmente se extiende en el flujo de partículas pulverizadas. Cuando se proveen apantallamientos de espacio oscuro, el borde relativamente afilado de este apantallamiento también lleva a acumulación de carga, especialmente cuando se reviste con material dieléctrico, lo que también produce formación de arco. En este modo de realización preferido del cátodo, los laterales del cátodo están aislados eléctricamente. El aislamiento eléctrico 142 se puede obtener mediante el uso de materiales aislantes o mediante la aplicación de un revestimiento aislante. El revestimiento dieléctrico puede ser una alúmina densa aplicada mediante un procedimiento de revestimiento por pulverización por plasma. El cátodo se puede aislar por medio de un revestimiento con una capa de cinta KaptonTM. Alternativamente, el cátodo se puede montar sobre un material aislante tal como TeflonTM o cerámica. Alternativamente, los lados del cátodo pueden estar expuestos a la atmósfera normal cuando el aire es el aislante eléctrico. Para aislar el cátodo se pueden usar combinaciones de las técnicas mencionadas anteriormente. Además, extender el cuerpo del cátodo lateralmente de forma que disminuya el campo magnético que se extiende más allá del cuerpo del cátodo reduce la formación de arco. Aislando un cátodo extendido con alúmina pulverizada por plasma sobre sus laterales y aislando la parte inferior con una placa de TeflonTM es posible reducir la tasa de arco de >100 arcos/s a $<0,1$ arcos/s para la misma tasa de deposición. Esto es una solución muy barata aunque eficaz al problema de la formación de arco no deseada. El cátodo según esta invención se puede usar para revestimientos metálicos y dieléctricos. El cátodo puede ser operado con cualquier modo eléctrico (RF, CC, CC pulsada, MF, CA con cátodo dual, CA con cátodo sencillo). El término revestimiento en la presente memoria para describir un revestimiento aislante eléctrico incluye pulverizar un revestimiento de material eléctricamente aislante, tal como alúmina, o pintar sobre él un revestimiento, o aplicar un revestimiento de cinta eléctricamente aislante tal como cinta KaptonTM; alternativamente y menos preferiblemente, también es posible revestir los laterales o la parte inferior del cátodo con placas de Teflon, sin embargo en este caso las placas deben estar adyacentes y en contacto con las paredes laterales conductoras del cátodo.

Con respecto ahora a la figura 13, se muestra un cátodo 136 dispuesto parcialmente en el interior de la cámara de vacío a vacío con la diana enfrentado hacia el interior de la cámara 136 y en el que la parte restante se muestra fuera de la cámara de vacío a presión atmosférica. En este caso, el cátodo 136 se inserta a través de una apertura

en la pared de la cámara y se sella con una junta 139 de forma que se pueda mantener el vacío. Las paredes laterales de la parte dentro de la cámara de vacío están revestidas con un material 138 aislante eléctricamente.

Los modos de realización presentados son simplemente ilustrativos y se pueden concebir otros numerosos dentro del alcance reivindicado de esta invención.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un dispositivo de pulverización para usarlo en la pulverización de un material, que comprende un ánodo y una cámara de revestimiento que contiene un cátodo y un sustrato que debe ser revestido con el material de pulverización,
5 caracterizado por que el ánodo (10) define un recipiente que tiene un cuerpo interior (12) eléctricamente conductor, un cuerpo exterior, una cavidad anódica dentro del cuerpo interior eléctricamente conductor y una apertura (14) en un extremo del cuerpo interior eléctricamente conductor para comunicar con la cámara de revestimiento para permitir que las partículas cargadas fluyan entre el cuerpo interior eléctricamente conductor y el cátodo en la cámara de revestimiento, y
10 en el que el cuerpo interior eléctricamente conductor está acoplado a una fuente de voltaje para proporcionar una diferencia de voltaje entre el material de pulverización y el cuerpo interior conductor; y
 en el que la apertura es esencialmente menor que una circunferencia del recipiente y tiene el tamaño para impedir esencialmente que el material de revestimiento se deposite en el recipiente.
- 2.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el recipiente tiene una válvula de admisión (18) para recibir un gas inerte para inflamar plasma en presencia de un voltaje suficiente aplicado entre el cuerpo interno (12) eléctricamente conductor y el cátodo.
15
- 3.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el ánodo (10) está dispuesto fuera de la cámara de revestimiento y físicamente acoplado a él de forma que la apertura del recipiente está enfrentada y abierta hacia la cámara de revestimiento.
- 4.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el cuerpo exterior del recipiente comprende un primer material que es diferente del cuerpo interior del recipiente y en el que el primer material es un material aislante.
20
- 5.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el cuerpo interior (12) eléctricamente conductor está acoplado a un interruptor (72) para aplicar de forma selectiva un voltaje flotante, polarizado o conectar a masa el cuerpo interior eléctricamente conductor.
25
- 6.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el ánodo (10) esta acoplado de forma fija al exterior de la cámara de revestimiento, de forma que en operación durante el revestimiento el ánodo sirve como un recipiente conductor y en el que las partículas cargadas fluyen entre el cátodo y la cámara de revestimiento y el interior del recipiente para revestir un sustrato dispuesto en la cámara de revestimiento con el material.
- 7.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que la apertura (14) tiene un área de $> 10 \text{ cm}^2$.
30
- 8.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que se montan líneas de gas y/o de agua al ánodo (10) fuera de la cámara de revestimiento.
- 9.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que la cavidad del ánodo tiene una sección transversal esencialmente cilíndrica o esférica.
- 10.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que un área superficial del cuerpo interior (12) eléctricamente conductor es de al menos 300 cm^2 .
35
- 11.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 2, en el que la presión en la cavidad del ánodo es la misma que en la cámara de revestimiento.
- 12.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 2, en el que la presión en la cavidad del ánodo es al menos 20% por encima de la presión en la cámara de revestimiento.
40
- 13.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 2, en el que la presión en la cavidad del ánodo al menos dos veces por encima de la presión en la cámara de revestimiento.
- 14.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el ánodo (10) está refrigerado por agua.
- 15.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, que incluye además un segundo ánodo que define un recipiente que tiene un cuerpo interior eléctricamente conductor, un cuerpo exterior y una apertura para permitir que las partículas cargadas fluyan entre el cuerpo interior eléctricamente conductor y el cátodo dentro de la cámara de revestimiento, y en el que el cuerpo interior eléctricamente conductor del segundo ánodo está acoplado a una fuente de voltaje que proporciona una diferencia de voltaje entre el cátodo y el cuerpo interior eléctricamente conductor del segundo ánodo.
45

16.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 15, en el que el primer ánodo (10) y el segundo ánodo están acoplados eléctricamente con un mismo cátodo lineal.

17.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, en el que el cátodo está dispuesto próximo y en comunicación con el ánodo (10) y en el que los laterales del cátodo están aislados eléctricamente.

5 18.- Un dispositivo de pulverización según la reivindicación 17, en el que los laterales del cátodo están revestidos con un revestimiento dieléctrico, cinta aislante, un revestimiento o una placa de TeflonTM y placas cerámicas, o combinaciones de ellos.

10 19.- Un método para controlar la distribución del material de revestimiento en un dispositivo de pulverización según la reivindicación 1, que es un dispositivo de pulverización por CA, comprendiendo el método conmutar eléctricamente los ánodos y, o ajustar independientemente el flujo de gas a los recipientes de los diferentes ánodos para controlar la distribución de la pulverización del material de revestimiento.

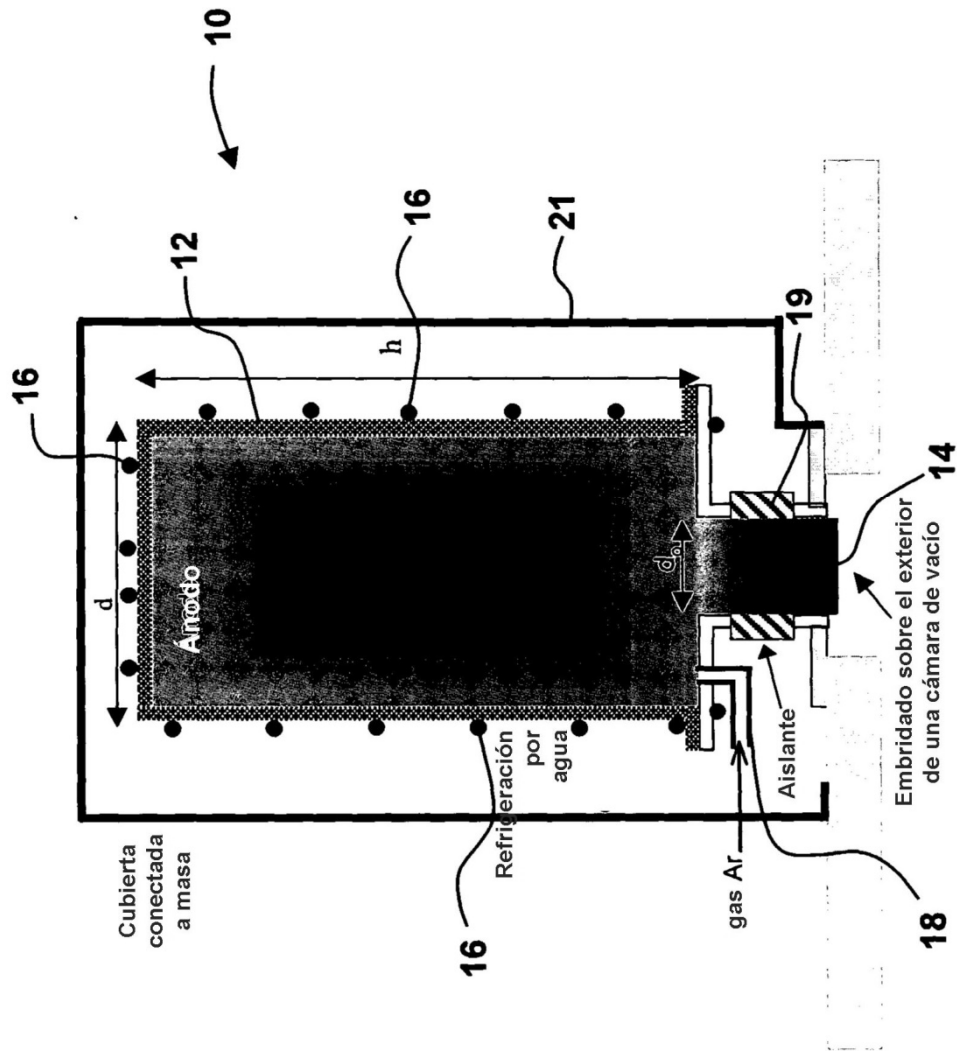


FIG. 1a

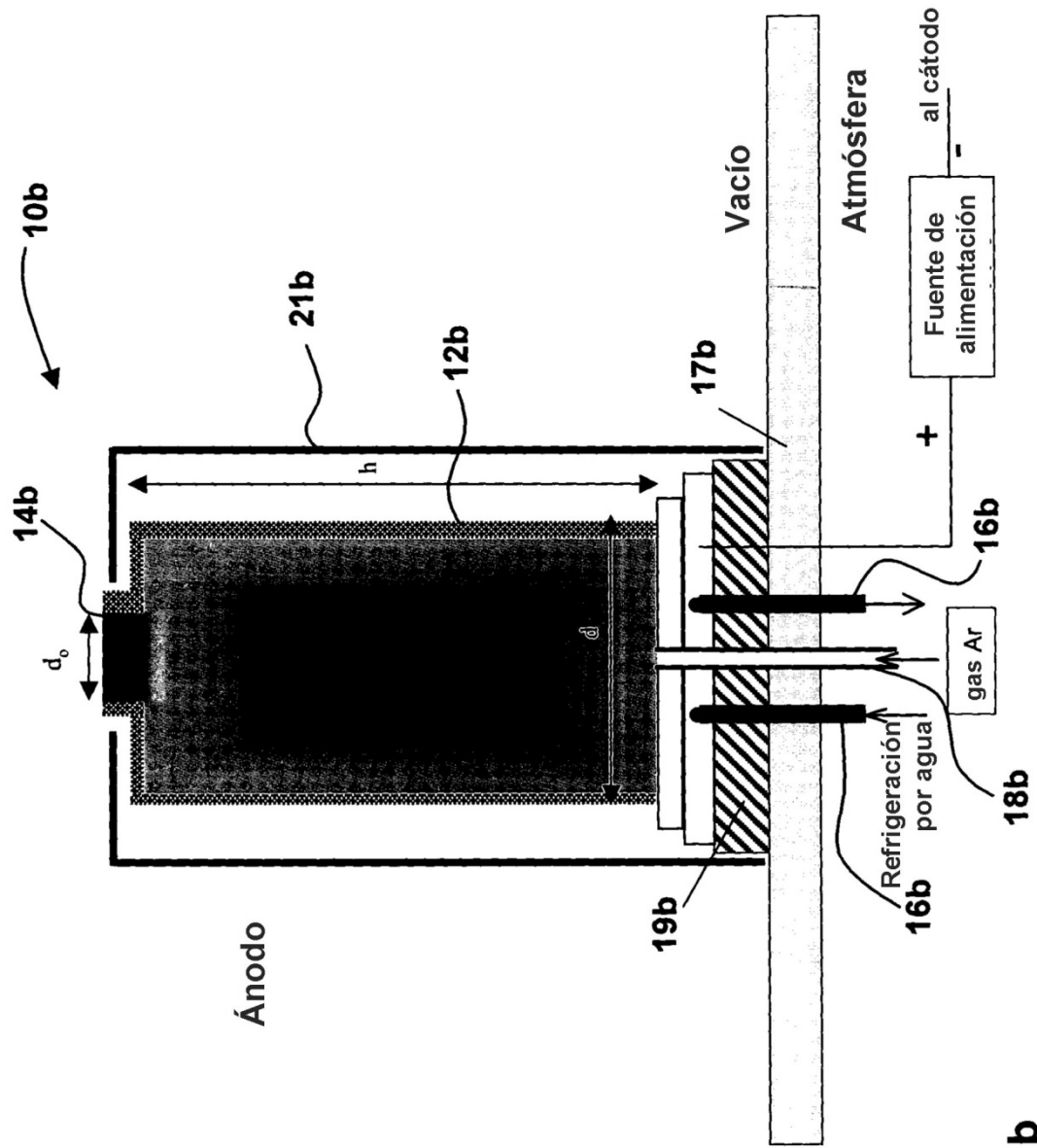


FIG. 1b

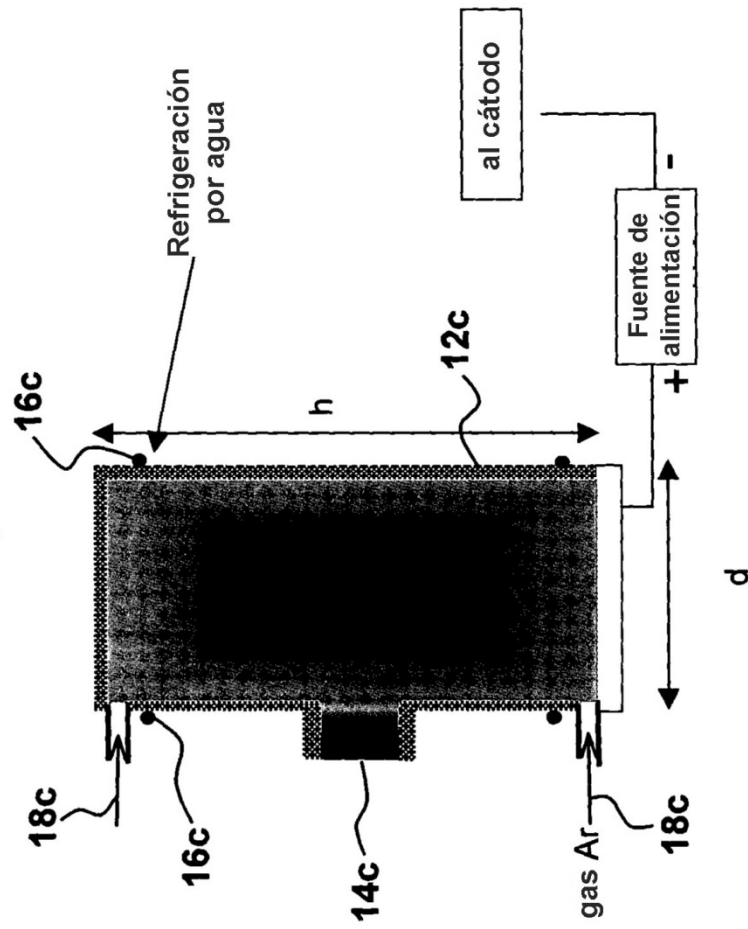
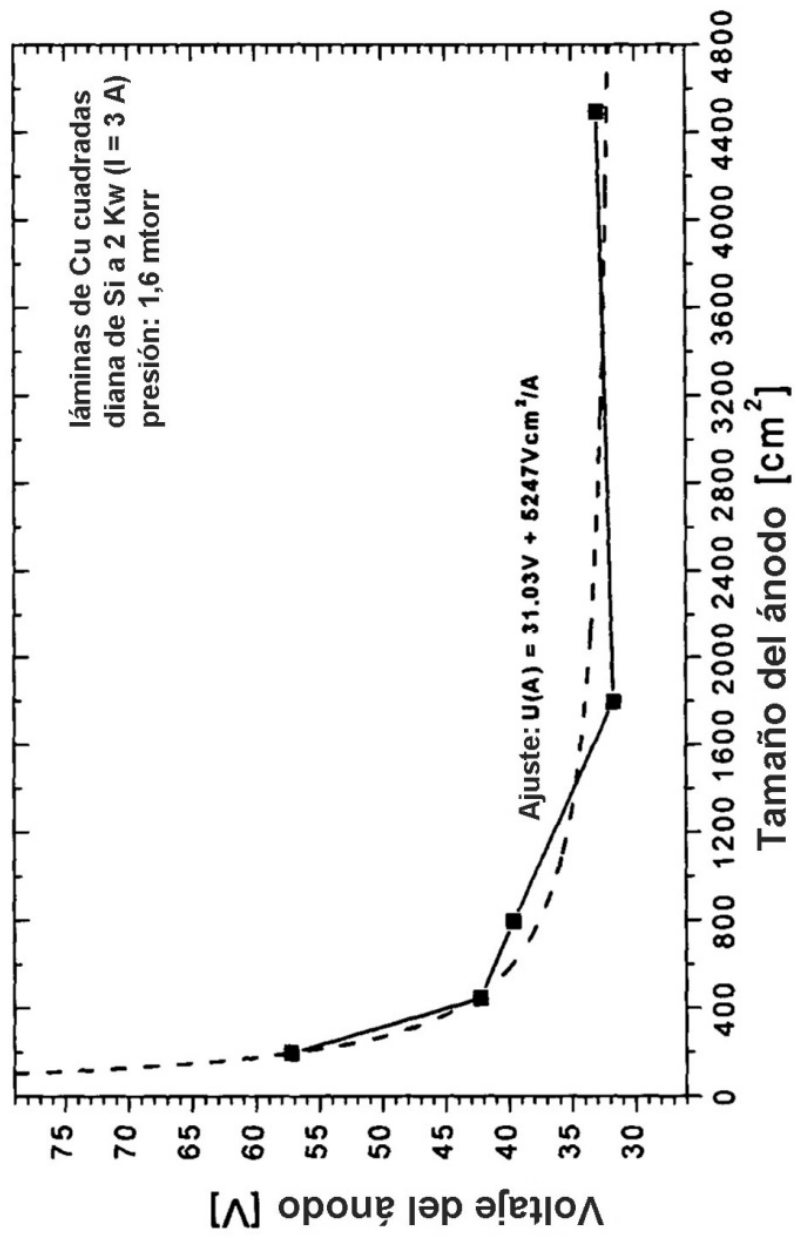


FIG. 1c

**FIG. 2**

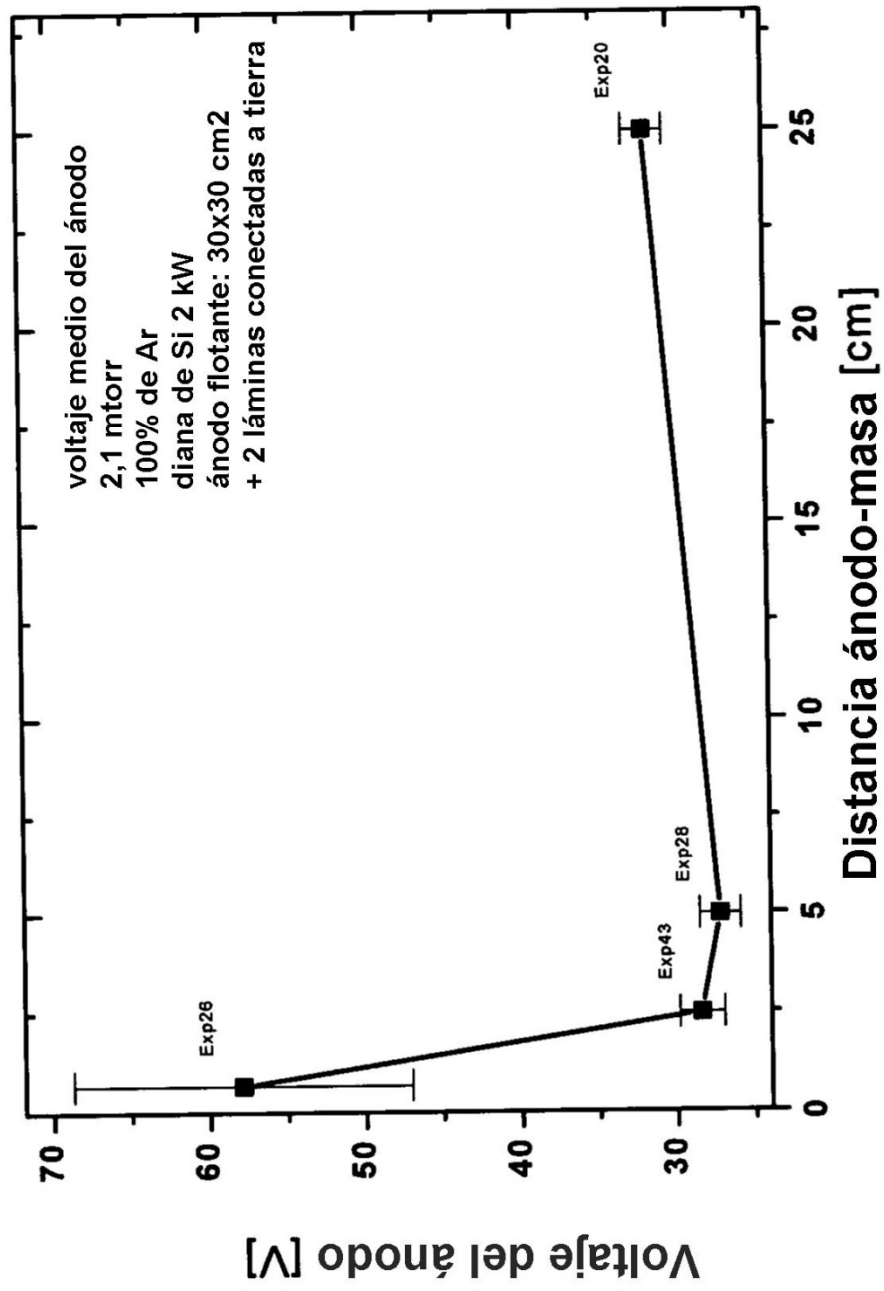


FIG. 3

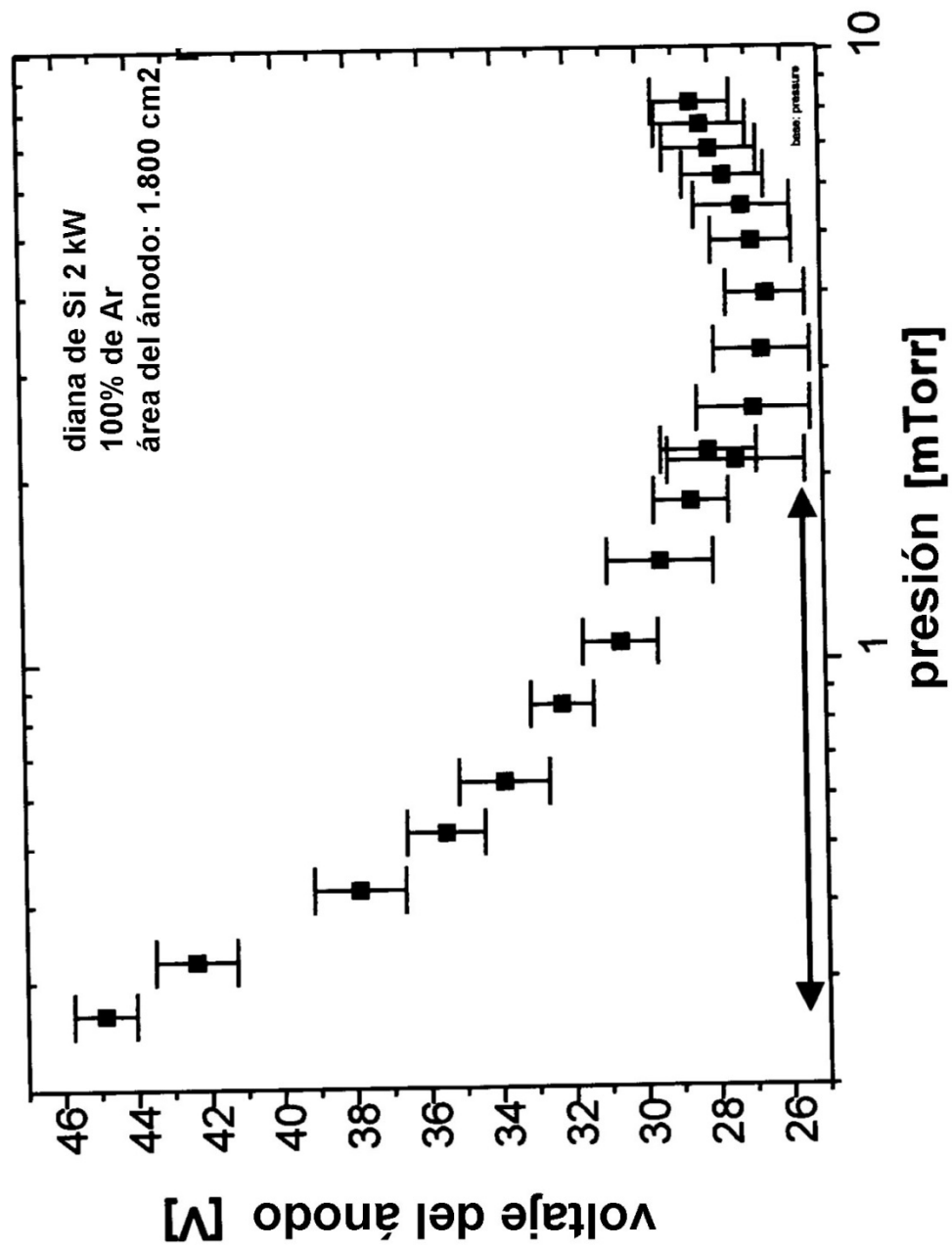


FIG. 4

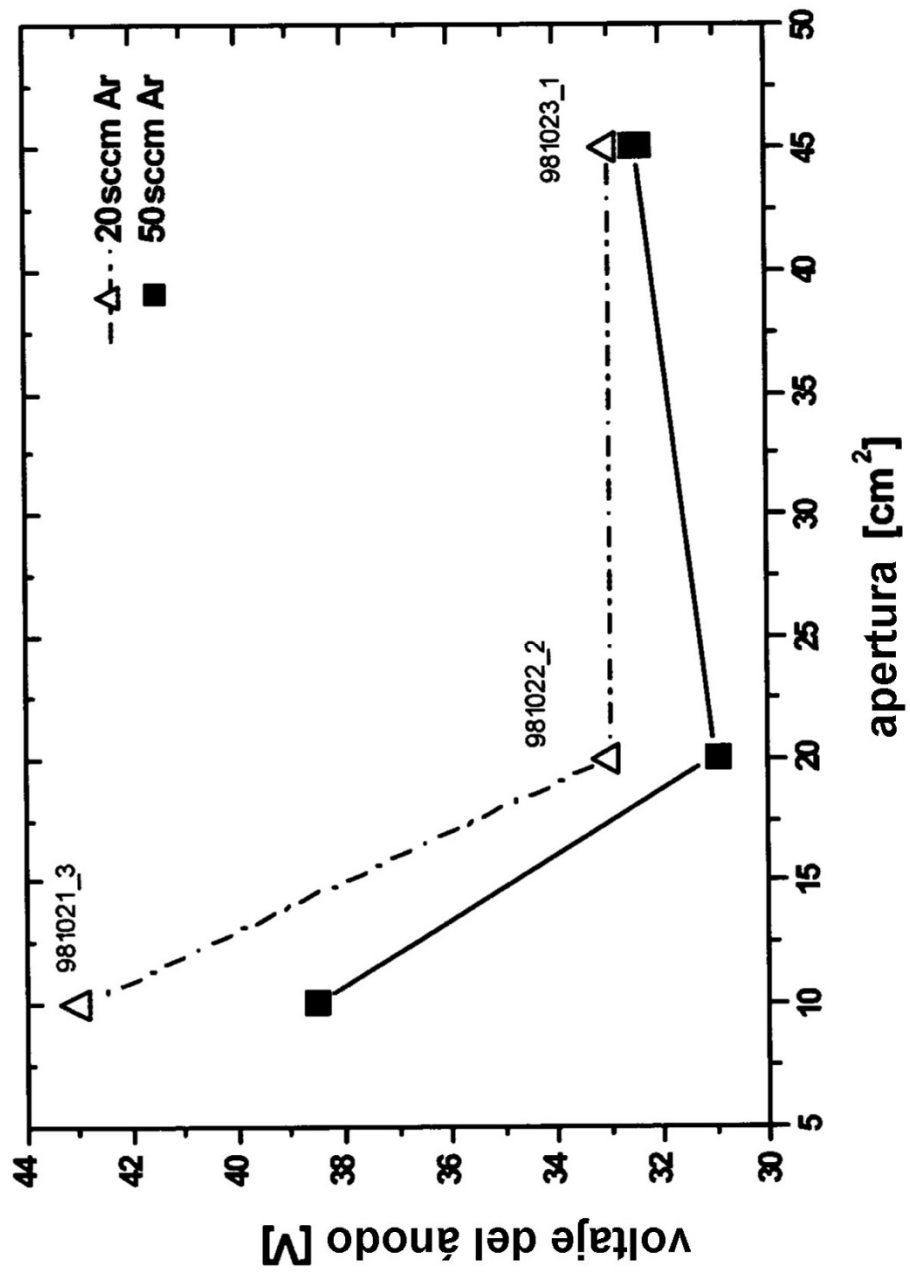


FIG. 5

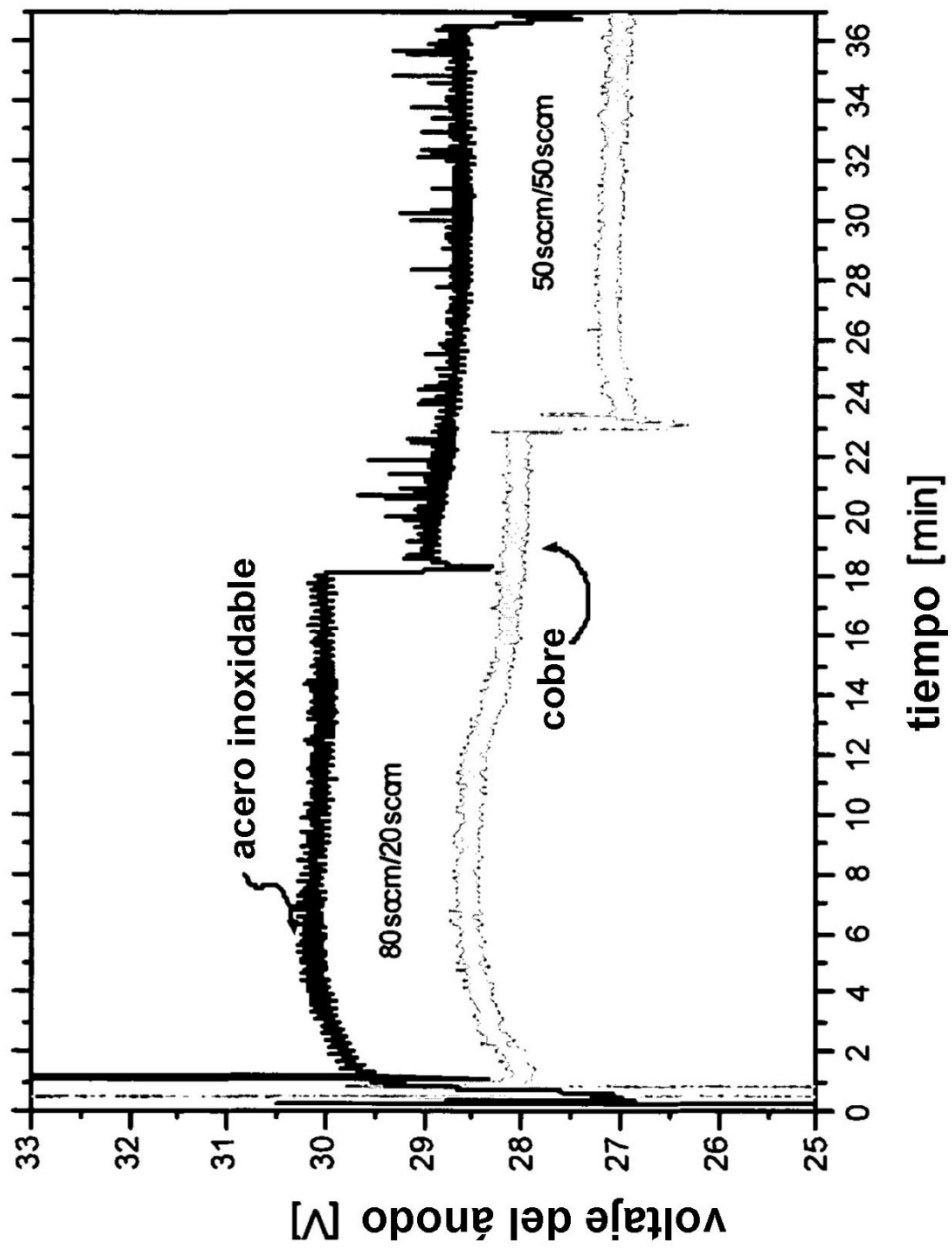


FIG. 6

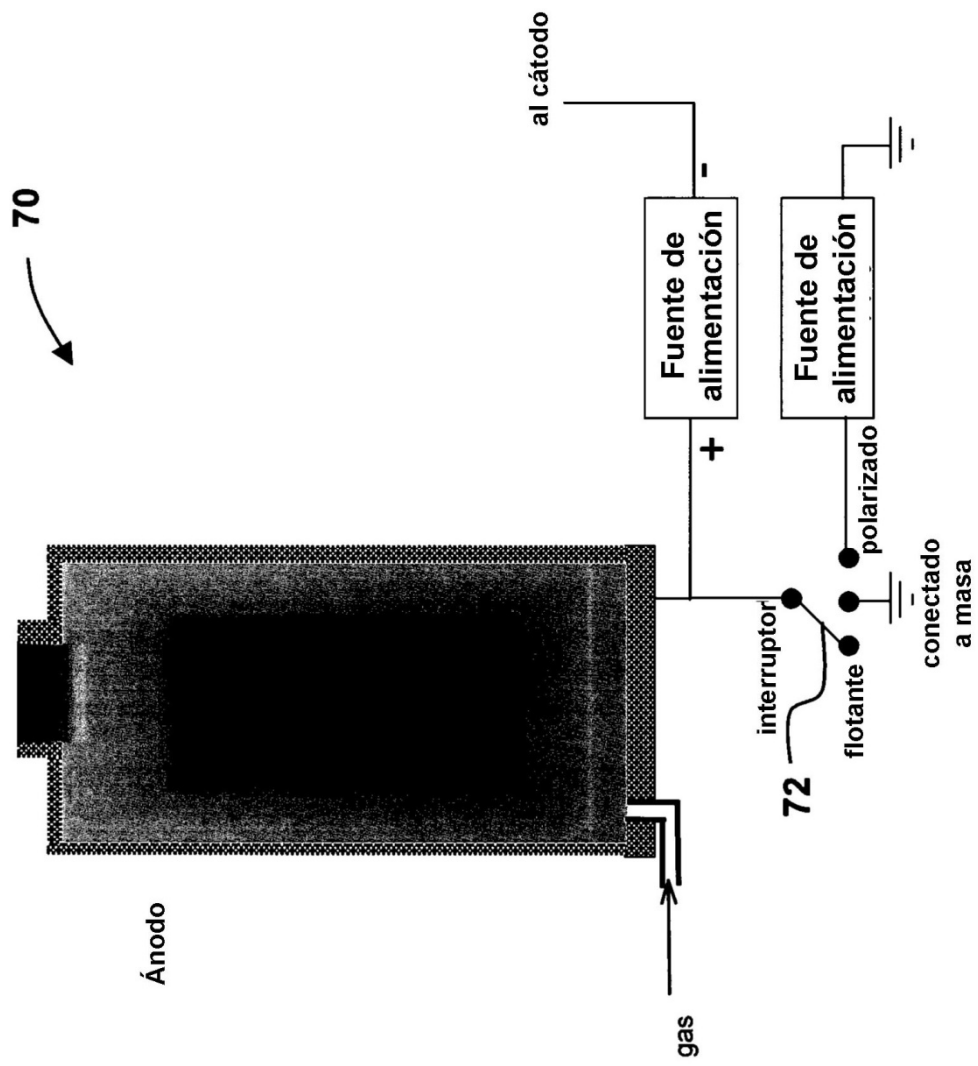


FIG. 7

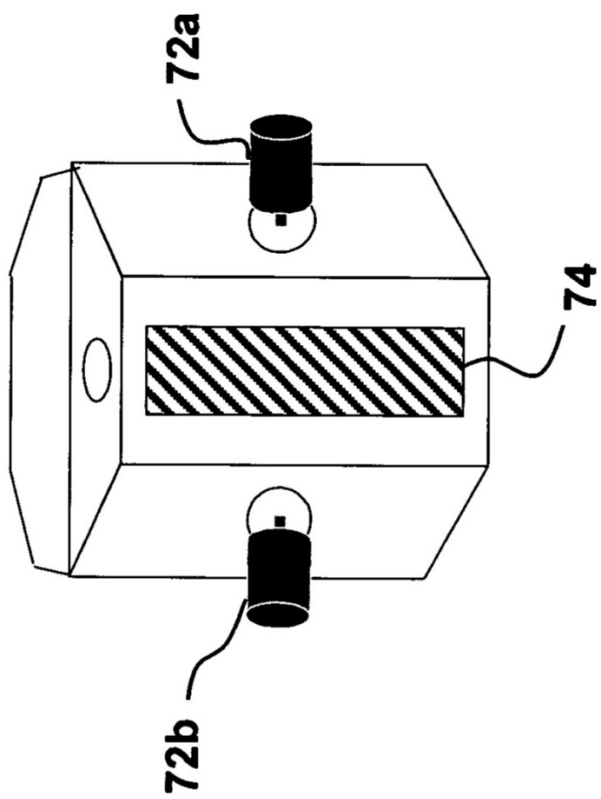


FIG. 8

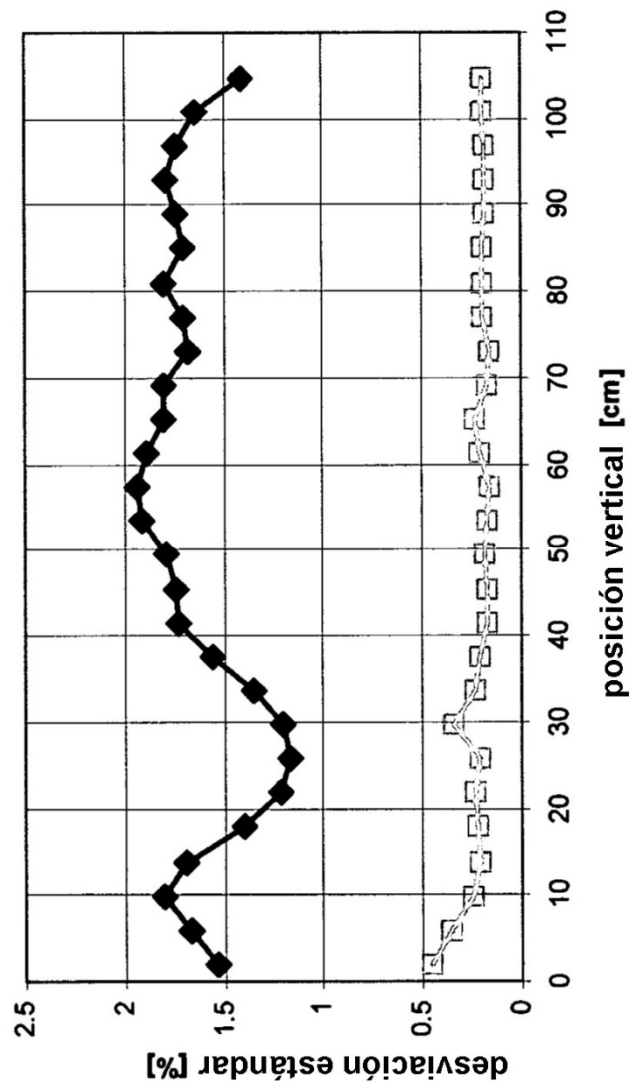


FIG. 9

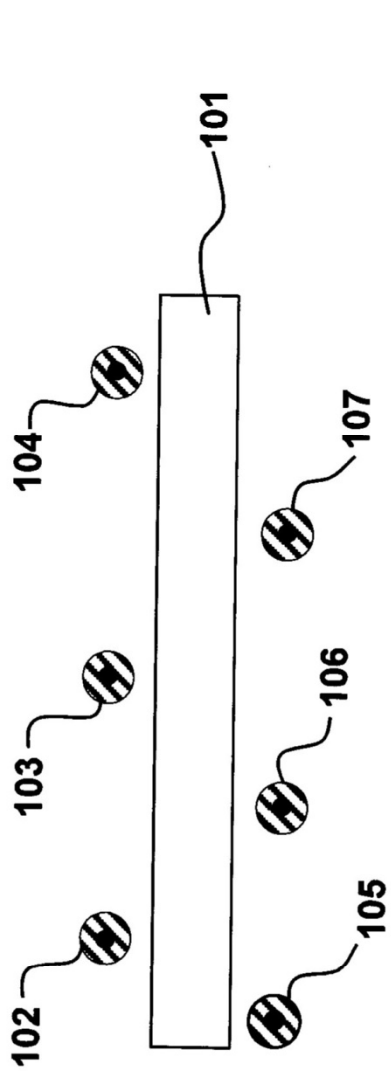


FIG. 10a

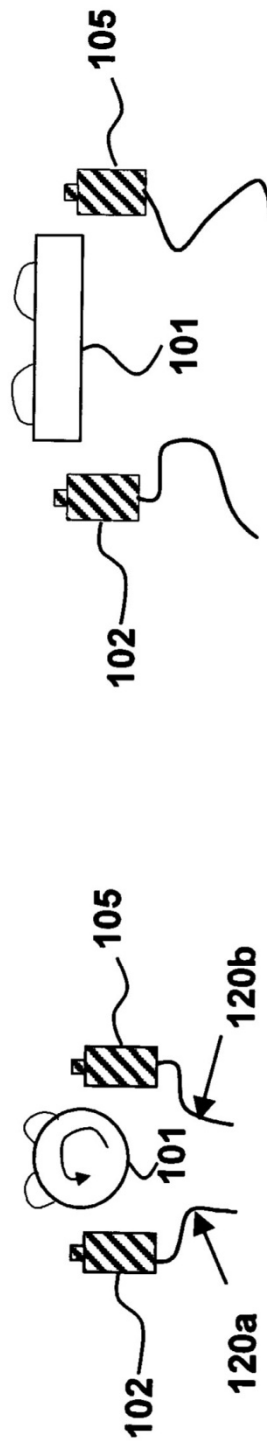


FIG. 10b

FIG. 10c

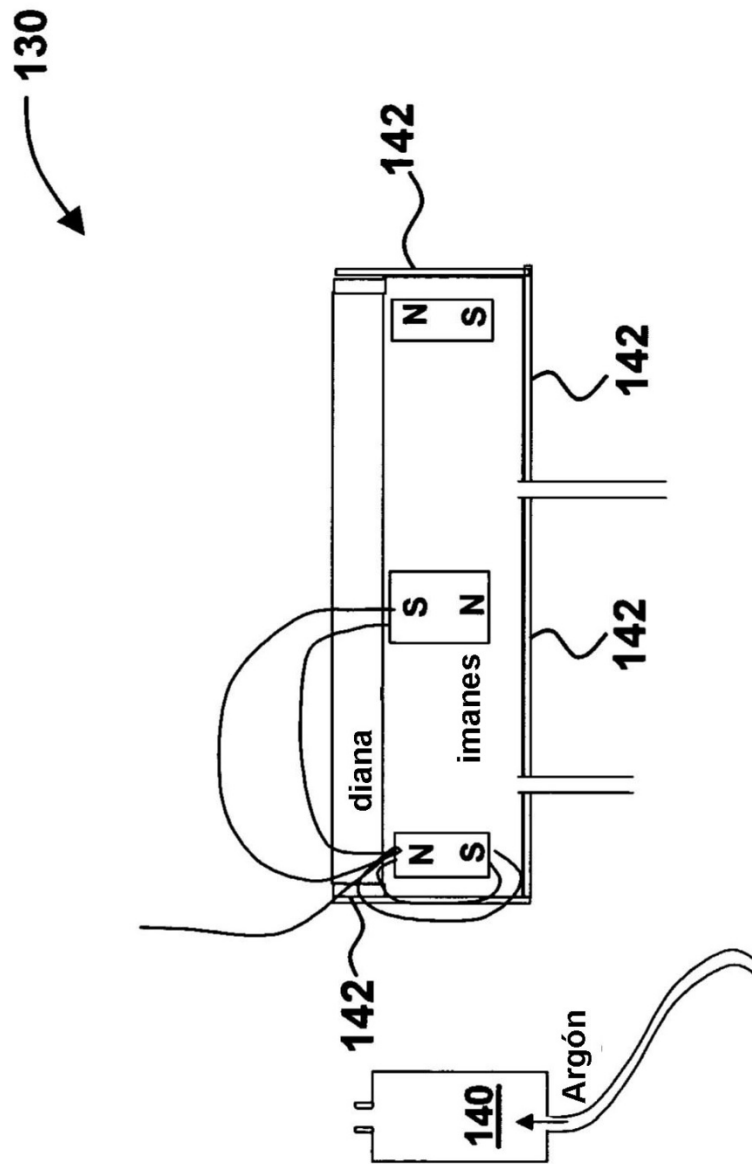


FIG. 11

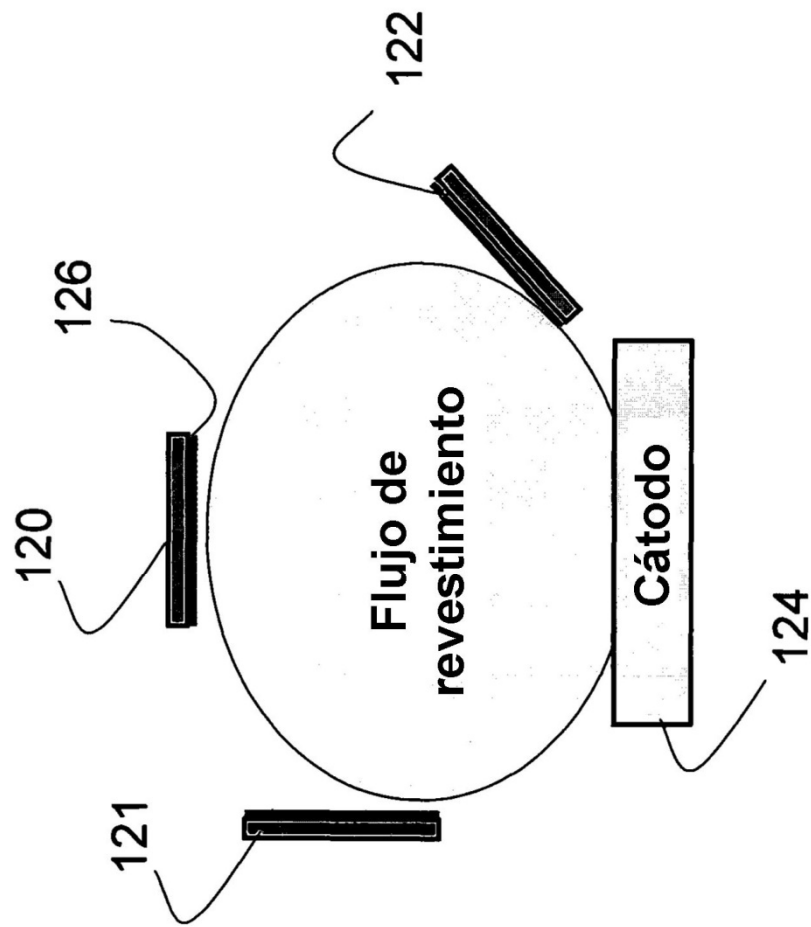


Figura 12

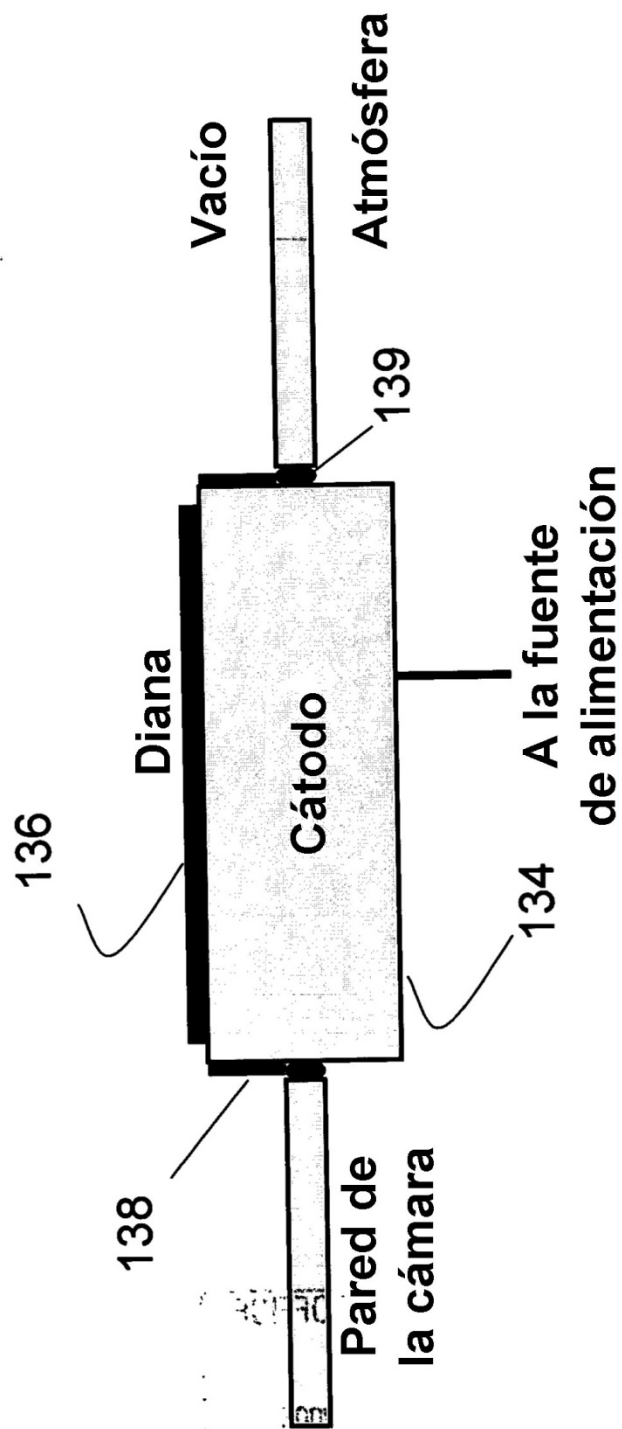


Figura 13