

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 726**

51 Int. Cl.:

**C23C 16/515** (2006.01)  
**C23C 16/44** (2006.01)  
**C23C 16/52** (2006.01)  
**H01J 37/32** (2006.01)  
**H01J 37/34** (2006.01)  
**C23C 14/22** (2006.01)  
**C23C 14/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.12.2008 PCT/SE2008/000699**  
 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2009 WO09075629**  
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2008 E 08860425 (1)**  
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 2229466**

54 Título: **Método de deposición de vapores químicos activado por plasma y aparato para el mismo**

30 Prioridad:

**12.12.2007 SE 0702770**

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

**18.10.2019**

73 Titular/es:

**PLASMATRIX MATERIALS AB (100.0%)  
Teknikringen 33  
114 28 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**NICOLESCU, MIHAI;  
HJALMARSSON, ÅKE y  
KOUZNETSOV, KLIM**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 727 726 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

Método de deposición de vapores químicos activado por plasma y aparato para el mismo

Solicitud relacionada

5 Esta solicitud reivindica la prioridad y el beneficio de la solicitud de patente sueca nº 0702770-9, presentada el 12 de diciembre de 2007.

Campo técnico

La presente invención se refiere a una tecnología plasmática para la precipitación o la deposición de capas de materiales. Los procedimientos básicos que se usan en la invención incluyen CVD PVD.

Antecedentes

10 El procedimiento de deposición de vapores químicos (CVD) fue inventado en los 1970s y se ha mejorado continuamente a lo largo de las décadas a fin de responder a los requisitos cada vez más exigentes del mercado en cuanto al procedimiento de revestimiento, las estructuras y las combinaciones.

15 La temperatura típica del procedimiento para revestimientos por CVD clásicos está entre 720°C y 1050°C. Los artículos más comunes revestidos son troqueles, herramientas de formación de metales y boquillas de extrusión. En cuanto a los materiales del sustrato, debido a la alta temperatura del procedimiento, la mayoría de los aceros requerirán un termotratamiento posterior al revestimiento. Los revestimientos típicamente depositados son TiC, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Los revestimientos se depositan casi siempre como múltiples capas.

20 Las ventajas del procedimiento incluyen

- La posibilidad de revestir geometrías complejas, incluyendo ciertos diámetros internos
- La alta capacidad de carga de ciertas herramientas (pero tiempos de ciclo largos)
- Los artículos que se van a revestir no requieren rotación dentro de la retorta
- La excelente uniformidad del revestimiento, independiente de la geometría de la pieza

25 - La extrema tenacidad de los revestimientos

30 Inicialmente, la CVD se conoce como un procedimiento termoactivado que se basa en la reacción de compuestos químicos gaseosos con sustratos adecuadamente calentados y preparados. Como se escribe anteriormente, requiere altas temperaturas del sustrato. Para disminuir la temperatura del sustrato, se han usado las diferentes técnicas que inician la descomposición (craqueo) de moléculas. La más común de esta es la descarga iniciada por radiofrecuencia (RF) en la cámara de procesamiento, véase la solicitud de patente japonesa publicada 20062700979. Entre otras técnicas, se pueden mencionar un reactor de CVD de microondas, véase la solicitud de patente de EE. UU. publicada 2007/036895, un reactor de CVD DC, véase el documento de patente surcoreana KR960014905B, un reactor híbrido de RF y DC, véase el documento de patente surcoreana KR960012316B, un reactor pulsátil, véase la solicitud de patente japonesa publicada 2004244713 y otras. Las descargas eléctricas en un reactor de CVD dan como resultado la ignición del plasma. Por lo tanto, estos tipos de la CVD se denominan CVD 35 activada por plasma (PA CVD) o CVD potenciada por plasma (PE CVD). El uso de PA CVD da como resultado una reducción significativa de la temperatura de la pieza de trabajo. Está para PA CVD en el intervalo 100° - 300°C (compárese con la CVD clásica). Puesto que se usan las descargas eléctricas, pueden ser importantes los problemas asociados con la supresión del arco y la desviación de la pieza de trabajo, véase la solicitud de patente 40 internacional publicada WO 2007/024765 y la solicitud de patente japonesa publicada 2006093342.

El segundo problema en la tecnología de CVD es el diseño y la optimización del reactor de CVD. Se puede mencionar el siguiente diseño principal de la geometría de los reactores.

- El reactor de cabezal rociador, véase la solicitud de patente de EE. UU. publicada 2004127067
- 45 - El reactor tubular, véase la solicitud de patente internacional publicada WO 01/61070

El diseño del reactor varía según los métodos de excitación plasmática usados.

5 Una de las partes importantes del reactor es el cátodo usado en la descarga eléctrica. En los últimos años, se han usado cátodos de tipo magnetrón, véanse las solicitudes de patente japonesa publicadas 2005/022950 y 2005/272948. Los cátodos magnetrónicos son partes típicas de la tecnología y los dispositivos de deposición de vapores físicos (PVD). Desde este punto de vista, el reactor combina los principios de CVD y PVD y por lo tanto se puede denominar un reactor híbrido de CVD-PVD.

10 Así, como se puede observar, el desarrollo activo de los métodos y dispositivos de CVD ha continuado a lo largo de varias décadas. Se requiere un desarrollo adicional más en todas las áreas mencionadas de la tecnología de CVD. Incluyen, en particular: métodos de excitación plasmática, diseño y optimización de reactores, supresión del arco y desviación de las piezas de trabajo.

15 Las tecnologías PA CVD, PA PVD e híbridas se usan generalmente para la deposición de capas de material sobre piezas de trabajo. Uno de los parámetros decisivos es la velocidad de deposición. El valor característico de este parámetro descrito, por ejemplo, en la solicitud de patente japonesa publicada 2006/270097 citada anteriormente es 790 nm/min. La generación de plasma se efectúa mediante descargas de RF. La tecnología moderna requiere velocidades de deposición que son 10 - 20 veces superiores a fin de depositar capas gruesas de aproximadamente 20 1000 µm sobre las piezas de trabajo que tienen superficies grandes de conformaciones complejas. Por lo tanto, un parámetro crucial es el coste de una máquina de revestimiento por CVD industrial. Alcanzar una deposición económica y eficaz usando técnicas de RF y microondas es demasiado costoso para piezas de trabajo de conformaciones complejas que requieren un gran espacio.

25 La solución más económica es el principio de DC. La parte débil de esta técnica es la baja velocidad de deposición debido a la baja corriente de descarga entre los electrodos. Para incrementar la corriente de descarga, se usa un cátodo que tiene un campo magnético intensificador, véanse las solicitudes de patente japonesa publicadas 2005/272948 y 2005/022950 citadas anteriormente. Con todo, este método no es suficiente para alcanzar una velocidad de deposición mayor de aproximadamente 10 µm/hora.

35 Sin embargo, en la tecnología PA PVD, se conoce ampliamente la sublimación magnetrónica de alta corriente, véase la patente de EE. UU. 6.296.742, la solicitud de patente internacional publicada WO 2006/049566 y la solicitud de patente de EE. UU. publicada 2004/020760, EP1447459 y US20050184669. La parte débil de la sublimación magnetrónica de alta corriente es el hecho de que mediante el incremento de la corriente de descarga, la velocidad de deposición disminuye proporcionalmente, compárese la solicitud de patente internacional publicada WO 2005/050696, Fig. 2a. Por otra parte, la ionización de vapor sublimado catiónicamente se incrementa.

40 Existen cinco problemas principales que se pueden tener que resolver a fin de alcanzar un uso eficaz de descargas eléctricas del ciclo de utilización bajo de alta corriente para la descomposición de moléculas complejas en un reactor de CVD.

45 1. Alta densidad plasmática. La descomposición en PA CVD se produce mediante moléculas que chocan con electrones disponibles en plasma. Después de la descomposición, radicales que consisten en especies sólidas tales como Si, C se depositan sobre piezas de trabajo. Para alcanzar una alta velocidad de deposición, es necesario obtener una alta densidad electrónica en el plasma generado. Debido a la cuasineutralidad general de los plasmas, esto significa que es necesario alcanzar una alta densidad plasmática. Esto se puede conseguir mediante descargas eléctricas del ciclo de utilización bajo de alta corriente pulsátiles entre electrodos en un reactor de PA CVD

50 2. Alta energía electrónica. Es necesario alcanzar una energía electrónica suficiente para la descomposición de moléculas. La energía característica requerida está en el intervalo de unos pocos electronvoltios hasta unas pocas docenas de electronvoltios

3. Baja erosión catódica. Debido al efecto de sublimación, el cátodo del espacio de descarga se erosiona. lo que da como resultado la necesidad de reemplazar periódicamente el cátodo por uno reciente. Realmente, la velocidad de deposición a partir de sublimación es menor de 10% de la velocidad de deposición total. Todavía hay una porción significativa y de ahí que se tenga que minimizar el efecto parásito de la sublimación catódica.

55 4. Diseño de electrodos. En la mayoría de las aplicaciones, las capas de materiales depositadas tienen una conductividad eléctrica muy baja o son casi dieléctricas. Estos materiales cubren las superficies de los electrodos y los hacen eléctricamente no conductores. La principal parte del problema se refiere al ánodo de las descargas ya que el cátodo se puede limpiar suficientemente mediante sublimación. La capa dieléctrica hace imposibles las descargas. Este fenómeno también es parásito y se requiere un diseño de electrodo específico.

5. Supresión del arco. La existencia de capas que tiene baja conductividad eléctrica o capas dieléctricas en los electrodos también da como resultado una transformación aleatoria de descargas luminiscentes difusas en descargas en arco. Esto destruye el procedimiento de deposición y las capas sobre las piezas de trabajo. Por lo tanto, se requiere la supresión del arco.

5 Sumario

Un objetivo de la invención es proporcionar métodos eficaces para CVD y procedimientos similares.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un aparato eficaz y componentes del mismo para CVD y procedimientos similares.

10 Cada uno de los problemas descritos en los puntos 1 - 5 anteriores se pueden reducir o incluso minimizar, solos o en combinación con algún otro problema o problemas, usando los métodos y los dispositivos que se describen en la presente, al menos en algunos casos. Un principio usado es la transformación de las descargas luminiscentes difusas de alto voltaje en descargas luminiscentes difusas de bajo voltaje mediante combinaciones adecuadas de los  
15 siguientes parámetros:

- Las dimensiones del reactor de CVD
- La intensidad del campo magnético
- El valor de la corriente de descarga

20 Se encontró que al incrementar la corriente de descarga entre los mismos electrodos en el procedimiento de PA CVD, la velocidad de deposición se incrementa proporcionalmente hasta el incremento de la corriente eléctrica. Asimismo, se incrementa la velocidad de ionización del gas que entra en descarga.

25 Se encontró además que si se eligen correctamente los valores de estos parámetros, el voltaje de descarga puede ser, p. ej., aproximadamente 70 V. Las descargas se distribuyen casi uniformemente a través de la superficie catódica. Estas descargas de bajo voltaje todavía están limpiando/sublimando suficientemente la superficie catódica. La densidad electrónica es hasta  $10^{21} \text{ m}^{-2}$  y la temperatura electrónica es hasta 20 eV.

30 Se encontró que una celda de descarga con un plasma que tiene estos parámetros es un reactor de CVD muy eficaz. La geometría de los electrodos de descarga, el sistema de suministro de gas y el sistema de vacío también se pueden optimizar como se describirá posteriormente.

35 El uso de los métodos y los dispositivos descritos en la presente puede dar como resultado alcanzar una velocidad de deposición de CVD de aproximadamente 200 - 300  $\mu\text{m/hora}$  para capas de materiales basados en carbono y aproximadamente 1000  $\mu\text{m/hora}$  para PVD. Los métodos y los dispositivos descritos en la presente pueden permitir la deposición de capas gruesas de materiales. El grosor característico de la capa puede ser, p. ej., aproximadamente 1 - 2 mm.

40 En un aspecto ejemplar, se usa una unidad de descomposición plasmática para la deposición de vapores químicos activada por plasma, la unidad según está dispuesta convencionalmente en o conectada a un recipiente de vacío que tiene una presión relativamente baja o vacío, a la que se proporciona un gas operativo. Periódicamente, se aplican impulsos de voltaje repetidos de una sola polaridad entre el ánodo y el cátodo de la unidad de descomposición plasmática de modo que se produzcan descargas eléctricas pulsátiles entre el cátodo y el ánodo de la unidad de descomposición plasmática. El ánodo está configurado de un modo especial de modo que al menos una porción del mismo obtenga solamente un revestimiento eléctricamente conductor o sustancialmente no obtenga  
45 revestimiento de material depositado cuando se hace funcionar la unidad. Con ese propósito, el ánodo puede incluir una porción tal como un reborde o una porción de borde que está situada en la proximidad directa de la superficie libre del cátodo y está situada o se extiende sobre márgenes de la superficie libre del cátodo. De este modo, el ánodo incluirá una porción que está blindada del revestimiento directo con partículas procedentes del plasma formado y de ahí, p. ej., sustancialmente no obtendrá en absoluto revestimiento dieléctrico.

50 En otro aspecto, un método de deposición de vapores químicos activada por plasma y métodos de deposición similares comprenden generalmente las cinco etapas siguientes:

- Proporcionar un recipiente de vacío en el que hay una presión relativamente baja o vacío y al que se proporciona un gas operativo tal como una mezcla de un gas de descomposición o precursor, un gas reactivo y/o un gas de sublimación.

5 - Proporcionar una unidad de descomposición plasmática que está dispuesta en o está conectada al recipiente de vacío y trabaja para descomponer las moléculas complejas del gas operativo que tiene dentro radicales cargados o neutros. La unidad de descomposición plasmática tiene un ánodo y un cátodo. También se puede decir que tiene sus propias especies anódica y catódica, de modo que el ánodo rodee el espacio catódico. El cátodo se proporciona con un campo magnético intensificador y está eléctricamente aislado del ánodo circundante.

- Proporcionar una unidad de procesamiento de piezas de trabajo que incluye una cámara de procesamiento. La cámara de procesamiento y las especies anódica y catódica están en comunicación directa. Por ejemplo, la cámara de procesamiento puede ser idéntica a la cámara de procesamiento, ser una porción de la misma o estar conectada a la misma.

10 - Proporcionar una pieza de trabajo en la cámara de procesamiento.

- Aplicar periódicamente impulsos de voltaje repetidos entre el ánodo y el cátodo de la unidad de descomposición plasmática de tal modo que se produzcan descargas eléctricas pulsátiles entre el cátodo y el ánodo de la unidad de descomposición plasmática.

15 En particular, se puede disponer de modo que durante el funcionamiento las descargas se produzcan entre el cátodo y particularmente o principalmente una superficie interna del ánodo circundante. Incluso más específicamente, el ánodo se puede configurar de modo que al menos una porción del mismo obtenga solamente un revestimiento eléctricamente conductor o sustancialmente no obtenga revestimiento en absoluto cuando se hagan funcionar la unidad de descomposición plasmática y la unidad de procesamiento de piezas de trabajo. Con este propósito, el ánodo puede incluir una porción blindada para el revestimiento directo con partículas procedentes del plasma formado.

20 En otro aspecto, la cámara de procesamiento se puede dividir en dos partes separadas mediante un filtro o una trampa para la precipitación y la recombinación de radicales sólidos y volátiles. Las bombas de vacío que están dispuestas para mantener la baja presión en el recipiente de vacío se pueden proteger de estos radicales si se conectan a la cara "limpia" del filtro o la trampa para radicales.

25 Durante el funcionamiento, el gas operativo tiene generalmente moléculas que incluyen átomos de sólidos. El gas operativo se difunde en el haz plasmático y se descompone mediante colisiones con electrones del plasma. La mezcla de gas operativo se puede suministrar a la cámara de procesamiento con un flujo constante en el tiempo o un flujo variable en el tiempo.

30 Por otra parte, el método puede incluir que el aparato esté configurado y se haga funcionar de modo que durante el funcionamiento la resistencia del hueco de descarga de la unidad de descomposición plasmática sea sustancialmente inversamente proporcional al valor de la corriente de descarga.

35 A la pieza de trabajo se le puede dar en todos los casos un potencial que sea negativo en relación con el del ánodo.

Durante el funcionamiento, se pueden usar parámetros de los siguientes intervalos, solos o en combinación:

40 - Las descargas pulsátiles pueden tener una frecuencia de repetición característica en el intervalo de 1 MHz - 1 kHz

- Las descargas pulsátiles pueden tener un tiempo de descenso en el intervalo de 1 - 10.000 microsegundos.

- La energía electrónica del haz plasmático puede estar en el intervalo de 1 - 30 eV.

- La densidad plasmática puede estar en el intervalo de  $10^{17}$  -  $10^{21}$  m<sup>-2</sup>.

- La presión de funcionamiento de la mezcla gaseosa puede estar en el intervalo de  $10^{-4}$  -  $10^1$  Torr.

- La intensidad del campo magnético intensificador puede estar en el intervalo de 0,001 - 0,2 T.

45 - La pieza de trabajo se puede colocar en la zona del haz plasmático a una distancia dentro del intervalo de 1 - 50 cm desde la superficie del cátodo.

En otro aspecto, a fin de efectuar descargas entre un ánodo y un cátodo en una aplicación de CVD o similar, se pueden aplicar impulsos de corriente, cada uno o alguno de los cuales se forma al añadir impulsos de corriente de baja potencia unos a otros. Los impulsos añadidos que se denominan impulsos elementales pueden tener cualquier

conformación adecuada, en particular conformaciones que tienen un pico agudo. Los impulsos de corriente compuestos resultantes pueden tener, p. ej., una conformación sustancialmente rectangular.

5 Por ejemplo, para una configuración adecuada de los electrodos y parámetros de funcionamiento adecuados, se puede conseguir que el voltaje de descarga sea sustancialmente constante durante cada uno de estos impulsos compuestos.

10 Para generar los impulsos añadidos, se puede proporcionar un generador que comprende una línea de transformación de potencia entrante inicialmente en la energía de un campo eléctrico, posteriormente en la energía de un campo magnético y finalmente de nuevo en la energía de un campo eléctrico.

Se pueden usar parámetros de los siguientes intervalos para los impulsos añadidos, solos o en combinación:

- La semianchura de los impulsos añadidos puede estar en el intervalo de  $10^{-6}$  -  $10^{-2}$  segundos.

- Los impulsos añadidos pueden tener una frecuencia de repetición en el intervalo de 1 MHz - 1 kHz.

15 - La amplitud de los impulsos añadidos puede estar en el intervalo de  $10^{-6}$  -  $10^3$  A.

- La energía característica acumulada para la formación de cualquiera de los impulsos añadidos individuales puede estar en el intervalo de  $10^{-6}$  - 100 J.

Se pueden usar parámetros de los siguientes intervalos para los impulsos compuestos resultantes, solos o en combinación:

20 - El tiempo del impulso compuesto puede estar en el intervalo de  $10^{-6}$  - 100 segundos.

- El ciclo de utilización del impulso compuesto puede estar en el intervalo de 0,5 - 0,1.

- El voltaje de descarga en los impulsos compuestos se puede variar de 50 V a 1000 V dependiendo del contenido de la mezcla gaseosa, la presión y la intensidad del campo magnético intensificador.

- La energía de los impulsos compuestos puede estar dentro del intervalo de 0,1 - 100 kJ.

25 - La potencia de cada impulso compuesto puede estar en el intervalo de 1 - 100 kW.

30 En una unidad de descomposición plasmática para producir un plasma usado en aplicaciones de CVD y similares en las que solo se desean descargas luminiscentes, la supresión del arco se puede realizar mediante conexión corta del ánodo y el cátodo de la unidad de descomposición plasmática antes de una presencia real de un arco eléctrico. En particular, el voltaje y la corriente de descarga se pueden analizar con respecto a la posible aparición de oscilaciones de alta frecuencia y alta amplitud para encontrar si existe una tendencia de transformación de una descarga luminiscente en una descarga en arco.

35 Objetivos y ventajas adicionales de la invención se indicarán en la descripción que sigue, y en parte serán obvios a partir de la descripción, o se pueden aprender mediante la práctica de la invención. La invención es como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

40 Aunque las nuevas particularidades de la invención se indican con particularidad en las reivindicaciones adjuntas, se puede obtener una comprensión completa de la invención, tanto en cuanto a la organización como al contenido, y de las particularidades anteriores y otras de la misma y la invención se apreciará mejor a partir de una consideración de las siguientes descripción detallada y realizaciones no limitativas presentadas posteriormente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la Fig. 1a es un esquema de una pila de descomposición plasmática según la invención para CVD que está montada internamente,

45 - la Fig. 1b es similar a la Fig. 1, pero siendo un ejemplo que no pertenece a la invención para una pila de descomposición plasmática que está montada externamente,

- la Fig. 2a es una vista superior esquemática de una cámara de procesamiento que incluye cuatro pilas de descomposición plasmática,
- la Fig. 2b es un esquema de la zona de descomposición de gas para las pilas de descomposición plasmática de las Figs. 1a y 1b,
- 5 - la Fig. 3 es un esquema de un aparato para CVD que incluye una cámara de procesamiento que tiene dos pilas de descomposición plasmática opuestas y una trampa para radicales generados,
- la Fig. 4 es un diagrama de trazos del voltaje y la corriente para una descarga eléctrica entre electrodos en las pilas de descomposición plasmática de las Figs. 1 y 1b,
- 10 - la Fig. 5a es un diagrama de conformaciones características de impulsos de corriente entre electrodos en las pilas de descomposición plasmática de las Figs. 1 y 1b para diferentes impedancias de la pila,
- la Fig. 5b es un diagrama de los impulsos de voltaje y corriente en relación con una pieza de trabajo para la pila de descomposición plasmática de las Figs. 1 y 1b,
- 15 - las Figs. 6a, 6b y 6c son diagramas de diferentes conformaciones de impulsos de corriente usados como ejemplos de simulación informática que incluyen una conformación triangular, una conformación que tiene un descenso exponencial y una conformación "rota" compleja, respectivamente,
- las Figs. 7a, 7b, 7c, 7d y 7e son diagramas de ilustración de diferentes etapas en una simulación informática de un principio de formación de impulsos de corriente que incluye sumar pequeños impulsos elementales que tienen un descenso exponencial,
- 20 - las Figs. 8a - 8c son diagramas de impulsos de corriente compuestos resultantes formados a partir de impulsos elementales que tienen diferentes extinciones entre ellos según una simulación informática,
- la Fig. 8d es un diagrama de un impulso compuesto resultante formado al sumar impulsos elementales de modo exponencial según una simulación informática,
- la Fig. 8e es un diagrama similar a la Fig. 8d pero para impulsos elementales que tienen una conformación "rota" según una simulación informática,
- 25 - la Fig. 8f es un diagrama similar a la Fig. 8d pero para impulsos elementales que tienen una conformación triangular según una simulación informática,
- las Figs. 9a y 9b son diagramas de trazos de voltaje y corriente en las pilas de descomposición plasmática de las Figs. 1a y 1b antes de la transición de una descarga lumínica a una descarga en arco,
- 30 - la Fig. 10 es un diagrama de circuito de los componentes eléctricos en una unidad de suministro de energía para formar un impulso elemental, y
- las Figs. 11a y 11b son diagramas de bloques esquemáticos que ilustran el principio de interconexión eléctrica de unidades de suministro de energía para generar impulsos elementales.

#### Descripción detallada

- 35 Los métodos activados por plasma de deposición de vapores químicos (métodos de PA CVD) se basan en la disociación, también llamada descomposición o desintegración, de moléculas provocada por colisiones con electrones. La disociación de moléculas en nuevas moléculas, fragmentos moleculares y radicales cargados o neutros debida a colisiones con electrones requiere que la energía de los electrones esté en el orden de magnitud de electronvoltios, es decir, esté entre los intervalos de keV o meV. Los diferentes moléculas, iones moleculares y radicales usados o producidos tienen diferentes energías de disociación. Generalmente, la energía de disociación
- 40 está en el intervalo de 1 - 100 eV para la disociación tanto parcial como completa. A menudo, está en el intervalo de 1 - 20 eV. Significa que el plasma generado en una pila de descomposición, también llamada unidad de descomposición o pila de desintegración, tiene que contener electrones, cuya energía es como mínimo del orden de magnitud de unos pocos electronvoltios, p. ej. al menos 5 eV o generalmente en el intervalo de 5 - 40 eV. En

tecnología de fusión plasmática, un plasma que tiene estos parámetros se denomina un "plasma frío". Se puede comparar con un "plasma caliente" que comprende electrones que tienen energías en el intervalo de 1 - 100 keV.

Los diversos métodos de PA CVD comprenden la generación de un plasma que tiene una cantidad o concentración suficiente de electrones energéticos para permitir una descomposición eficaz del gas operativo usado. Los métodos usados para generación de plasma en los métodos de PA CVD que se usan en la práctica industrial actual se basan en descargas eléctricas de cualquiera de los siguientes tipos: DC, RF, microondas y pulsátil. El ganador en esta competición será la tecnología de descarga que permita que se obtengan electrones energéticos de un modo económico y con las mayores densidad electrónica y energía.

Durante el período desde 1958 hasta ahora no se ha encontrado ninguna tecnología mejor para la generación de plasmas fríos que el uso de descargas pulsátiles de alta corriente en campos eléctricos y magnéticos cruzados. Los dispositivos experimentales más comunes son los dispositivos homopolares y pseudohomopolares, véanse K. Halback, W. R. Baker, R. W. Layman, "Production of a Hot Rotating Plasma", *Physics Fluids* 5 (1962) 1482. B. A. Tozer, "Rotating plasma", *Proc. IEEE*, Vol. 112, nº 1, enero de 1965, y B. Lehnert en la revisión "Rotating Plasmas", *Nuclear Fusion* 11 (1971), pp. 485-533. En estos dispositivos, la densidad plasmática alcanzada es típicamente  $10^{21}$  m<sup>-3</sup> y la energía electrónica varía hasta 100 eV. En la tecnología moderna, los dispositivos de estos tipos se denominan posmagnetrones cilíndricos y posmagnetrones cilíndricos invertidos, véase J. Reece Roth, "Industrial Plasma Engineering", Vol. 1, Institute of Physics Publishing, Bristol y Filadelfia, 1995, p. 339. En particular, durante el período reciente estos dispositivos se han usado para generar plasmas de hidrógeno. El principal parámetro de todos estos dispositivos experimentales que es importante para el método descrito en la presente es la intensidad del campo magnético.

Los dispositivos homopolares tienen un campo magnético relativamente intenso que está en el intervalo de 0,04 - 0,4 T.

Como alternativas a los dispositivos homopolares que usan un campo magnético intenso, también se han investigado sistemas que tienen campos magnéticos más débiles, véanse V. N. Bocharov, S. G. Konstantinov, A. M. Kudriavtsev, O. K. Myskin, V. M. Panasiuk, A. F. Sorokin, F. A. Tselnik, "Equilibrium state of the rotating plasma in a mirror trap", *Fizika Plazmy*, Vol. 4, mayo-junio 1978, pp. 488-491 (en ruso), y S. G. Konstantinov, F. A. Tselnik, "Measurement of the electric field of the rotating plasma", *Fizika Plazmy*, Vol. 1, Sept.-Oct. 1975, pp. 802-805 (en ruso).

Las principales características para la generación de plasmas en estos dispositivos son el voltaje de descarga usado y la densidad plasmática obtenida que son diferentes en aproximadamente una decena (en el orden de magnitud 10:1).

Se conoce la misma diferencia para la tecnología magnetrónica. En las publicaciones científicas e industriales actuales, se describen cátodos del magnetrón que tienen campos magnéticos débiles e intensos, véase el libro citado anteriormente de J. Reece Roth y D.V. Mozgrin, I.K. Fetisov, G.V. Khodachenko, "High-current low-pressure quasi-stationary discharge in a magnetic field: experimental research", *Plasma Physics Reports* 21 (5) (1995), pp. 400-409, y también los documentos de patente rusa RU2058429 y RU2029411.

Los campos magnéticos débiles para esta tecnología se pueden graduar para que estén dentro del intervalo de 5 - 50 mT y los campos magnéticos intensos dentro del intervalo de 0,1 - 0,2 T.

Los magnetrones también demuestran la existencia de dos regímenes diferentes que tienen diferentes voltajes de descarga. Para un campo magnético débil, la intensidad del campo magnético es 30 - 50 mT, y el campo magnético intenso es 0,1 - 0,2 T. El voltaje de descarga es 300 - 1000 V y por debajo de 50 - 70 V, respectivamente. La diferencia en el voltaje de descarga se ha explicado por la fuerte interacción de un plasma que gira alrededor del eje del sistema y que se fracciona viscosamente con aisladores extremos. Para los magnetrones, esto significa la interacción con el material del cátodo, véase la revisión de Lehnert citada anteriormente.

Se usan tradicionalmente descargas de alto voltaje para la sublimación catódica magnetrónica. Se usan descargas de bajo voltaje para la ionización de gas. No se han usado hasta ahora descargas de alta corriente pulsátiles ni de alto voltaje ni de bajo voltaje para la descomposición de moléculas complejas.

Se ha encontrado que cuando se usan descargas pulsátiles de alta corriente en campos eléctricos y magnéticos cruzados para la descomposición de moléculas complejas tales como C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> y una deposición adjunta de radicales, se han de considerar los cuatro fenómenos siguientes:

1. Los materiales resultantes después de una deposición convencional y/o una deposición reactiva de radicales sobre piezas de trabajo y otros objetos, tales como sobre las paredes de la cámara o las cámaras de procesamiento, tienen en la mayoría de los casos una resistividad eléctrica relativamente alta o son completamente dieléctricos. En particular, zonas de las superficies de los electrodos se pueden revestir con materiales tales que interfieran con u

obstruyan las descargas. Por lo tanto, a fin de usar una corriente de descarga alta, se puede requerir un diseño específico de la cámara de procesamiento y de los electrodos de descarga para evitar estos revestimientos interferentes.

5 2. Se encontró que cuando se usan descargas de alta corriente para ionizar gases operativos que comprenden moléculas complejas como  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ , hay una tendencia incrementada a que las descargas luminiscentes difusas deseadas avancen hasta o se transformen en descargas en arco. Esta tendencia es particularmente importante o notable para estas descargas en los casos en los que el cátodo está hecho de grafito debido a la porosidad natural de este material catódico.

10 3. La amplitud máxima de la corriente de descarga está limitada por la dinámica del gas en la cámara de procesamiento usada para la descomposición. A fin de descomponer moléculas de un gas operativo, el gas se introduce en una pila de descomposición, en el haz plasmático generado en la pila. Las moléculas del gas operativo llegan a la región plasmática con una velocidad térmica que es aproximadamente  $10^2 - 10^3$  m/s. Si hay una frecuencia de colisión demasiado alta entre electrones y moléculas de diferentes tipos en el plasma, todas las moléculas se pueden descomponer y radicales sólidos se pueden depositar entonces sobre la superficie de la pieza de trabajo, antes de que nuevas moléculas entren en la región plasmática. Esto puede ocurrir, p. ej., si las moléculas del gas operativo contienen átomos que forman por sí mismos materiales sólidos. De ahí que, en el último caso, la energía de las descargas se use principalmente solo para calentar átomos volátiles y moléculas simples como hidrógeno. En conclusión, resulta que para la optimización del procedimiento de descomposición puede ser necesario tener impulsos relativamente largos, cada uno de una potencia moderada. Se encontró que las longitudes de los impulsos óptimas pueden estar en el intervalo de aproximadamente 1 ms - 10 s. La densidad espacial de la corriente de descarga puede estar entonces, p. ej., en el intervalo de aproximadamente  $0,1 - 10 \text{ A/cm}^2$ .

25 4. Se encontró que la eficacia del procedimiento de descomposición depende mucho de la magnitud de la corriente de descarga. Considérese el caso de impulsos de corriente de conformación rectangular, la magnitud de los cuales se varía de impulso a impulso. Si la amplitud de este impulso de corriente es baja, la densidad plasmática y la energía electrónica serán demasiado bajas. Esto da como resultado un procedimiento de descomposición que tiene una baja eficacia y al mismo tiempo sobrecalentamiento y erosión de los electrodos, pérdidas de energía y gas. Además, esto implica que si un impulso de corriente tiene, por ejemplo, conformación sinusoidal, el procedimiento de descomposición es bajo en las fases de descarga inicial y final del impulso. Se puede decir que estas fases se pierden para la descomposición y solo las fases cercanas a la corriente máxima son adecuadas para la misma. Esto significa que los impulsos de conformación sinusoidal y de corriente que tienen una conformación tal como triángulo, una función exponencial y similares no son adecuados para la descomposición y pueden tener un bajo interés en el uso práctico. Estos impulsos de corriente pueden tener desventajas tales como pérdidas de energía, calentamiento de los electrodos de descarga, erosión de los electrodos de descarga mencionados anteriormente, y otros fenómenos negativos. Una elección que puede dar un mejor resultado puede ser efectuar las descargas mediante impulsos de corriente de conformación rectangular que tengan una magnitud suficientemente grande adecuadamente seleccionada. Se encontró que para descargas generadas para descomponer moléculas de un gas operativo, el voltaje de descarga es bastante constante para cualquier amplitud de la corriente de descarga. Esto significa que la potencia de descarga óptima ha de ser sustancialmente constante durante todo el tiempo de descarga.

40 Las Figs. 1a y 1b son esquemas de pilas 1, 3 de descomposición plasmática (PDCs) para producir un plasma en la superficie 5 libre de un cátodo 7. La Fig. 2a es una vista esquemática en planta de una cámara 9 de procesamiento que incluye tres PDC's 1 con imanes 11 permanentes montados dentro de la cámara de procesamiento y una PDC 3 con el imán permanente situado externamente. La Fig. 2b es un esquema de un haz 13 plasmático divergente generado en y emitido y que se expande desde una región en o a una pequeña distancia de la superficie 5 de un cátodo 7. La flecha indica la dirección de expansión. Si se hacen funcionar dos fuentes plasmáticas opuestas, el plasma generado ocupa el espacio entre los cátodos respectivos según se muestra esquemáticamente en la Fig. 3. La dirección del haz plasmático de descomposición es perpendicular a la superficie 5 libre del cátodo. Una longitud característica del haz plasmático puede estar en el intervalo de 5 - 20 cm.

50 Así, en la PDC de la Fig. 1a, todos los componentes principales de la misma están situados dentro de la cámara 9 de procesamiento, compárese la Fig. 2a. En este caso, las paredes 15 de la cámara de procesamiento pueden ser eléctricamente conductoras y estar conectadas eléctricamente al potencial anódico. En la realización de la Fig. 1b, se hace una abertura 16 en las paredes de la cámara de procesamiento, el imán 11 permanente está montado fuera de la cámara de procesamiento y el cátodo 7 está dispuesto en la abertura. El cátodo está eléctricamente aislado de las paredes 15 de la cámara de procesamiento y al menos una porción de la superficie 5 libre del cátodo es una parte de las superficies que delimitan la cámara de procesamiento. El ánodo tiene una parte 15a principal que tiene al menos algunas porciones de la misma situadas haciendo frente a la superficie libre del cátodo, como se observa cuando se mira la superficie libre del cátodo 7, es decir más cerca del centro de la cámara de procesamiento. La parte principal del ánodo se puede configurar como aletas que se extienden desde las superficies interiores de las paredes 15 de la cámara 9 de procesamiento como en la Fig. 1a. Estas aletas tienen una primera porción que se

extiende perpendicularmente hacia la superficie interna de las paredes 15 de la cámara de procesamiento y una porción extrema que se extiende en paralelo hasta dicha superficie interna y de ahí también paralela a la superficie 5 libre del cátodo, extendiéndose posiblemente la porción extrema sobre el superficie libre del cátodo, es decir en particular la superficie del cátodo que, p. ej., puede ser sustancialmente plana y se dirige a o hace frente al interior o el centro de la cámara 9 de procesamiento. Generalmente, el cátodo puede tener la conformación de una placa que tiene dos superficies grandes opuestas y superficies de borde. Entonces, una de las superficies grandes está frente al interior o el centro de la cámara de procesamiento. Además, la parte 15a principal del ánodo puede estar configurada como las superficies de las paredes 15 de la cámara de procesamiento eléctricamente conductoras que están situadas en o en la proximidad del cátodo 7 y en particular como una capa o lámina eléctricamente conductora sobre dichas superficies de las paredes de la cámara de procesamiento que circundan la superficie 5 libre del cátodo según se muestra en la Fig. 1b. En este caso, la abertura 16 se puede hacer para incluir un escalón trasero de modo que las superficies de la pared de la abertura incluyan una primera porción que se extiende perpendicularmente hacia la superficie interna de las paredes 15 de la cámara 9 de procesamiento y una segunda porción que se extiende en paralelo a dicha superficie interna y de ahí también paralela a la superficie 5 libre del cátodo, la segunda porción situada más cerca del interior de la cámara de procesamiento y posiblemente extendiéndose también algo sobre la superficie libre del cátodo, del mismo modo que en el caso de la Fig. 1a. El ánodo también incluye una extensión 15b anódica que puede ser partes de las paredes 15 de la cámara de procesamiento situadas alrededor del cátodo 7 en el caso de que dichas paredes sean eléctricamente conductoras y en otro caso puede incluir láminas o capas eléctricamente conductoras sobre dichas partes. Un conducto 4 de enfriamiento con agua se extiende hasta el imán 11 permanente para enfriarlo y una línea 5 eléctrica conecta el cátodo 7 a un suministro de energía o generador de impulsos, no mostrado.

La cámara 9 de procesamiento puede ser circular o tener una conformación poligonal, siendo cuadrada o rectangular según se observa a partir de lo anterior. Puede incluir una o más pilas 1, 3 de descomposición, p. ej. cuatro pilas como en la Fig. 2a.

En el procedimiento de deposición cuando se hace funcionar una PDC tal como una de las 1, 3 descritas anteriormente, todas las superficies de la cámara 9 de procesamiento y de todos los objetos situados dentro de la cámara de procesamiento se cubren con una capa de material depositado. Esto puede requerir que una y otra vez las capas depositadas se retiren mecánicamente de al menos las partes 15a, 15b anódicas. De otro modo, estas capas se pueden agrietar y desestratificar, lo que puede dar como resultado una transformación de las descargas lumínicas deseadas en descargas en arco.

En particular, se encontró que en el procedimiento de deposición, el material depositado sobre diferentes porciones de la parte 15a anódica principal puede obtener diferentes propiedades eléctricas. En particular, las superficies 17 de la parte 15a anódica principal que se dirigen hacia o están frente al cátodo 7 obtienen revestimientos de material depositado que tienen propiedades eléctricas diferentes de las del material depositado sobre las superficies 19 de la parte anódica principal que no se dirigen hacia o no hacen frente al cátodo. Por ejemplo, para materiales y los procedimientos de CVD descritos en la solicitud de patente internacional publicada WO 2008/105736, que incluyen y usan elementos tales como C, H, N, O, las superficies 17 que hacen frente al cátodo 7 se cubren con una capa eléctricamente conductora, pero las otras superficies de la parte 15a anódica principal se cubren con una capa dieléctrica. Se puede decir que las primeras superficies 17 mencionadas están blindadas de la porción principal del plasma generado de modo que no se puede realizar una deposición directa de sustancias sobre las mismas.

Usando los procedimientos de CVD descritos en la solicitud de patente internacional WO 2008/105736 citada, en los que el cátodo 7 es una placa hecha de grafito, se pueden obtener descargas pulsátiles de alta corriente entre las partes 17 de la superficie interna de la parte 15a anódica principal y el cátodo 7. En la realización de una cámara 9 de procesamiento ilustrada en la Fig. 3 también se depositan revestimientos dieléctricos sobre el soporte 21 que soporta la pieza 23 de trabajo en el centro de la cámara 9 de procesamiento. El soporte para la pieza de trabajo se extiende desde un tope 25 de carga para la pieza de trabajo que está conectado eléctricamente a las partes 15a, 15b anódicas. La pieza 23 de trabajo puede tener un potencial eléctrico diferente de tierra y/o el potencial del ánodo, es decir estar eléctricamente desviado de la DC.

En la realización de una cámara 9 de procesamiento rectangular de la Fig. 3, se usan dos PDC's 1 interiores que están situadas mutuamente opuestas y tienen la pieza 23 de trabajo situada entre las mismas. La compuerta 25 de la trampa de aire está situada en una pared que conecta las paredes en las que están montadas las dos PDCs. Haciendo frente a la cuarta pared, es decir la otra pared que conecta las dos paredes opuestas de la cámara 9 de procesamiento, se monta un filtro para radicales o una trampa 27 para radicales. La trampa divide la cámara 9 de procesamiento en un espacio 29 de trabajo en el que están situadas la pieza 23 de trabajo y las PDCs y un espacio 31 trasero blindado. La trampa está configurada para evitar el escape directo de cualquier especie, es decir, átomos, moléculas, iones y radicales y agregados de los mismos del espacio de trabajo al espacio blindado.

La trampa 27 puede ser cualquier tipo de laberinto que no permita el escape directo de los átomos de sólidos y los radicales de una a otra cara de la trampa. Por ejemplo, puede ser un conjunto de placas, no mostrado, que tienen orificios perforados aleatoriamente que tienen posiciones no coincidentes en las placas. El número de las placas y el número de los orificios y su diámetro se pueden elegir adecuadamente de forma experimental durante la

optimización del procedimiento. Los parámetros de optimización incluyen el tiempo de permanencia del gas operativo en la cámara 9 de procesamiento y la eficacia de la condensación de sólidos sobre las placas de la trampa. El tiempo de permanencia del gas es superior si la conductividad del gas de la trampa 27 es inferior. Además, la eficacia de condensación de sólidos es superior si la conductividad de la trampa es inferior. Pero si la conductividad del gas es demasiado baja, la velocidad de deposición será demasiado baja.

El filtro/la trampa 27 evita que las superficies de las paredes interiores del espacio 31 blindado se revistan con una capa dieléctrica. Por otra parte, protege las superficies de trabajo de una turbobomba 10 de ser revestida con los materiales no deseables. Asimismo, evita la penetración de las especies y los radicales nocivos en una bomba de vacío previo. Los radicales nocivos pueden destruir el aceite dentro de las bombas.

En esta realización, si las superficies de las paredes internas del espacio 31 blindado están conectadas al ánodo, descargas pulsátiles de alta corriente se pueden encender entre estas superficies y los cátodos de las PCDs 1. La parte 15d anódica se usa como el ánodo conductor. Se encontró que la corriente de descarga fluye desde la superficie 5 del cátodo hasta la superficie 15d del ánodo a través de las placas 27 filtrantes para distancias relativamente largas.

La presión de funcionamiento del método de CVD está en el intervalo de  $10^{-4}$  -  $10^1$  Torr, preferiblemente en el intervalo de  $10^{-2}$  -  $10^1$  Torr.

Según la ley de Pashen, las descargas se producirán preferiblemente entre lugares sobre los electrodos que están situados a la distancia más alta entre sí.

Existe otro método para encender la descarga pulsátil de alta corriente en el procedimiento y para los materiales que se describen en la solicitud de patente internacional WO 2008/105736 citada. El principal objetivo del procedimiento y el material según dicha solicitud de patente es la deposición de materiales amortiguadores de la vibración sobre piezas de trabajo de diversos tipos. Se encontró que el material depositado es eléctricamente conductor si el cátodo está hecho de un metal. Se encontró que en este caso, las capas depositadas, además de tener una conductividad eléctrica suficiente, todavía tienen buenas propiedades mecánicamente amortiguadoras.

El fenómeno y los problemas descritos en el punto 2. - 4. son de gran importancia para una aplicación industrial eficaz de PA CVD de ciclo de utilización bajo de alta potencia. Brevemente, las principales cuestiones incluyen el perfil temporal de los impulsos de corriente eléctrica aplicados, el diseño de los electrodos y el problema de la supresión del arco.

En la solicitud de patente internacional publicada WO 2006/049566 citada anteriormente, se divulga un método para producir descargas pulsátiles de alta corriente. El método se basa en añadir señales sinusoidales semiperiódicas. El método es aplicable a descargas producidas usando circuitos eléctricos en los que la impedancia eléctrica del suministro de potencia es muy superior a la impedancia del hueco de descarga. Sin embargo, la impedancia del hueco de descarga es casi igual a cero. El método se usa para sublimación magnetronica de muy alta potencia. Los métodos de PA CVD descritos en la presente deben usar en cambio unas corrientes de descarga limitadas en los impulsos. El factor limitativo es la dinámica de las moléculas de gas operativo en la cámara 9 de procesamiento. Por lo tanto, para estos métodos, la impedancia del hueco del electrodo en la pila de descomposición es de una magnitud comparable a la del suministro de potencia o incluso es superior. La amplitud (máxima) del impulso compuesto resultante total según esta solicitud de patente internacional es igual a la amplitud (máxima) de cada señal sinusoidal elemental a partir de la cual se forma el impulso compuesto. Tozer y Lehnert, véanse los artículos anteriormente citados, mostraban que la impedancia de un hueco de descarga en campos eléctricos y magnéticos cruzados es una cantidad compleja y se puede representar como una combinación en paralelo y en serie de una resistencia, una capacitancia y una inductancia. Esto significa que la corriente de los impulsos añadidos elementales no puede tener estrictamente una conformación sinusoidal, sino que en cambio se puede decir que la corriente es pseudosinusoidal. Esto es diferente de las condiciones descritas en la solicitud de patente internacional WO 2006/049566 citada. Por lo tanto, el método y el aparato divulgados en esta solicitud de patente internacional citada son aplicables solamente a la zona estrecha de la tecnología llamada ahora HIPIMS, véase la página de inicio de Internet en [http://en.wikipedia.org/wiki/High\\_Power\\_Impulse\\_Magnetron\\_Sputtering](http://en.wikipedia.org/wiki/High_Power_Impulse_Magnetron_Sputtering).

En el documento de Mozgrin y cols. citado anteriormente, se describe un método para producir impulsos de corriente de conformación rectangular. El método se basa en una línea de circuito abierto y permite que se produzcan impulsos de corriente de conformación rectangular usando un solo acumulador de energía grande, es decir un solo capacitor. La energía que se ha de acumular para producir cada impulso de corriente es 5,5 kJ. Se usó un cátodo circular plano que tenía un diámetro de 120 mm. Es obvio que para sistemas mayores, la energía acumulada debe ser muy superior. El problema es que en estos sistemas las descargas luminiscentes se transformarán en descargas en arco y así toda la energía acumulada se disipará en una zona pequeña de la pieza de trabajo. Esto da como resultado un mínimo en la destrucción de una capa depositada, y un máximo en una destrucción de todo el sistema. Por lo tanto, el problema de producir impulsos y la supresión del arco es de un interés muy grande, especialmente para máquinas industriales grandes.

El método que se describirá ahora se basa en añadir impulsos de corriente de conformación de picos agudos de baja potencia secuencialmente en el tiempo. En el diagrama de la Fig. 4, se muestran los trazos registrados para un impulso de corriente corto cuando se aplica a un hueco de electrodo de una pila de descomposición en disposiciones preliminares. El gas operativo para la pila de descomposición era acetileno  $C_2H_2$ . La gráfica 40a es el trazo de voltaje y la gráfica 40b es el trazo de corriente eléctrica para la descarga. Los valores medidos se muestran en unidades arbitrarias. La corriente de descarga se registró en la entrada positiva del osciloscopio usado y por lo tanto está situada por encima del nivel cero en A. El cable de señal para el voltaje se conectó a la entrada negativa/invertida del osciloscopio y está situada por debajo de otra, nivel cero respectivo en B. Los niveles cero en la última entrada antes y después de la descarga pulsátil son diferentes. Esto está provocado por la capacitancia parásita de la sonda de voltaje y el esquema de medida. El nivel cero real es el que se muestra después de la descarga. La relación de la sonda de medida de corriente era 1 A:1 mV. Por lo tanto, la amplitud de la corriente de descarga medida era aproximadamente 100 A. La relación de la sonda de voltaje era 1:1. Por lo tanto, el voltaje terminal se midió como aproximadamente 1,1 kV y el voltaje de descarga se midió para que fuera aproximadamente 500 V. En el momento  $t_1$ , el suministro de energía se conectó al hueco de descarga mediante un conmutador en estado sólido. Por lo tanto, el voltaje en el hueco de descarga se incrementaba de cero hasta el voltaje terminal del suministro de energía que es aproximadamente 1,1 kV. El período de  $t_1$  a  $t_2$  (aproximadamente 10 - 20  $\mu s$ ) es el tiempo para el desarrollo de la descarga disruptiva del hueco de descarga. En otras palabras, es el tiempo del desarrollo de la descarga luminiscente. Después de la descarga disruptiva, el voltaje en el hueco de descarga cae desde el voltaje terminal de 1,1 kV hasta el voltaje de "combustión" que es aproximadamente 500 V. En el momento  $t_3$ , la corriente de descarga empieza a crecer después de la descarga disruptiva del hueco. Las conformaciones complejas y significativamente diferentes de los trazos de voltaje de descarga y corriente están provocadas por procesos complejos en el plasma que está situado en los campos eléctrico y magnético cruzados de la fuente de plasma con desplazamiento electrónico cerrado. Como se puede observar, el voltaje de descarga es sustancialmente constante para todos los valores de corriente durante el tiempo de descarga. Como se puede observar en la Fig. 4, durante la descarga, la amplitud de corriente, véase el trazo 40b, aumenta de cero hasta un máximo y posteriormente disminuye hasta cero. Al mismo tiempo, el voltaje, véase el trazo 40a, es casi constante, teniendo solamente una fluctuación relativamente pequeña, para todos los valores de corriente durante la descarga. Esto significa que el voltaje no depende de los valores de la corriente eléctrica. En otras palabras, esto significa que la impedancia del hueco de descarga disminuye cuando incrementa la corriente de descarga. Se encontró que añadir más corriente eléctrica a la usada en la prueba al sumar corrientes procedentes de fuentes individuales en la carga de unión no daba como resultado ninguna alteración del funcionamiento de los circuitos de descarga. Las pruebas se realizaron para valores de la corriente eléctrica de hasta 1 kA. Esta afirmación es válida solamente para dispositivos de descarga lumínica, llamados dispositivos con desplazamiento electrónico cerrado. Inicialmente, estos dispositivos se denominaron dispositivos homopolares y pseudohomopolares, véase el artículo de K. Halback y cols. citado anteriormente. Fuentes plasmáticas pseudohomopolares se refiere en particular a fuentes llamadas fuentes plasmáticas magnetrónicas. Lo específico de la aplicación de estas fuentes en el método descrito en la presente es que la sublimación catódica es un fenómeno negativo, compárese el uso positivo de la sublimación, p. ej., en dispositivos de sublimación magnetrónicos. La erosión catódica provocada por sublimación da como resultado una necesidad de cambiar frecuentemente la placa catódica lo que incrementa los costes de producción. Para reducir la erosión catódica se puede usar un campo magnético intensificador de descarga más intenso, véase el artículo de Mozgrin y cols. citado anteriormente. Un campo magnético intenso da como resultado una reducción significativa del voltaje de descarga y de este modo una fuerte disminución de la erosión/sublimación catódicas. Esto significa que la impedancia del hueco de descarga de los dispositivos que tienen desplazamiento electrónico cerrado es compleja según se describe en los artículos de Lehnert y Tozer citados anteriormente.

Es necesario enfatizar que para una carga resistiva simple, la suma de corrientes eléctricas individuales en la carga da como resultado un incremento correspondiente de la caída de voltaje sobre la carga. En ese caso, no considerado en la presente, el método de construir impulsos al sumar impulsos elementales no funciona.

La viabilidad del método de suma de corrientes eléctricas individuales se probó para intensidades tanto altas como bajas del campo magnético intensificador de la descarga al diseñar el esquema de suministro de corriente como una pluralidad de circuitos 101 de suministro de energía elementales que funcionan en paralelo entre sí, véase el diagrama del circuito esquemático de la Fig. 11a. En cada uno de tales circuitos elementales, un capacitor 103 que tiene la capacitancia  $C_1$  está conectado en serie con la impedancia  $X_1$  del circuito elemental respectivo, representado por el elemento 105, y un conmutador 107. El circuito 101 elemental está conectado a la carga, ilustrada como el recuadro 109, que tiene la impedancia  $X_L$ . La impedancia de carga  $X_L$  tiene una naturaleza compleja y es descrita con detalle por Tozer y Lehnert en los documentos citados anteriormente. La impedancia  $X_L$  varía en las diferentes fases de las descargas, lo que puede dar como resultado una variación compleja de la corriente de descarga como una función del tiempo, véase la Fig. 5b. La impedancia  $X_1$  de los circuitos 101 elementales es constante y se puede medir mediante conexión corta de la carga 109. La impedancia  $X_L$  de los circuitos elementales depende de parámetros del circuito respectivo y puede tener un carácter principalmente resistivo, capacitivo o inductivo. Para la aplicación descrita en la presente, una impedancia del circuito que tenga un carácter inductivo puede ser la más adecuada. En este caso, las impedancias  $X_1$  se pueden escribir como  $L_1$ . Una impedancia inductiva da como resultado una disipación inferior de la energía acumulada en el capacitor 103 en los circuitos 101 elementales. Puede dar como resultado la transformación más alta posible de la energía acumulada en el procedimiento de descomposición de gas operativo.

Valores típicos de las capacitancias  $C_1$  y las inductancias  $L_1$  internas están en los intervalos de 1 nF - 10  $\mu$ F y 1 nH - 10  $\mu$ H, respectivamente.

5 Durante el funcionamiento, el capacitor  $C_1$  puede así descargarse a través de una inductancia 105,  $L_1$  y la impedancia  $X_L$  del hueco de la pila de descomposición, siendo la última la carga. En las pruebas, los capacitores de los circuitos 101 elementales paralelos se cargaron hasta el mismo voltaje y a continuación se descargaron simultáneamente o se descargaron empezando las descargas sucesivamente con algún retraso relativamente pequeño una después de otra. En la prueba, cinco circuitos paralelos se conectaron a la carga 109. Según se  
10 esperaba, la impedancia  $X_L$  del hueco del electrodo de la pila de descomposición era compleja y variable durante el período de descarga y de ahí que la corriente de descarga variara en el tiempo, véase la gráfica B en la Fig. 4. La impedancia variaba desde infinito hasta 100 Ohm.

15 En otra disposición preliminar, véase la Fig. 11b, las descargas se realizaron para la misma carga 109,  $X_L$  y un solo circuito 111 del mismo tipo pero que tiene un capacitor 113 que tiene una capacitancia  $C_2$  igual a cinco veces la capacitancia  $C_1$  de los capacitores 103 en los circuitos 101 de la Fig. 11a y una impedancia interna ilustrada como el inductor 115 que tiene un valor de inductancia  $L_2$  igual a un quinto de la inductancia  $L_1$  de los inductores 105. El capacitor individual se cargó hasta el mismo voltaje que se habían cargado los cinco capacitores en la primera disposición ilustrada en la Fig. 11a. Este segundo experimento simulaba así el funcionamiento paralelo de los cinco  
20 circuitos 101 paralelos. Se encontró en ambos casos que el voltaje sobre y los impulsos de corriente en la carga 109 eran iguales que los mostrados en el diagrama de la Fig. 4. Generalmente, se encontró que los circuitos 101 paralelos no influían mutuamente aunque sus parámetros fueran diferentes, tales como los valores de capacitancia e inductancia  $C_1$ ,  $L_1$ , y cuando los tiempos de inicio de las descargas respectivas se cambiaban en el tiempo.

25 Los resultados obtenidos demuestran claramente que un impulso de corriente de descarga integral o compuesto grande se puede producir como una suma de impulsos que se generan mediante circuitos paralelos que funcionan independientemente y se añaden unos a otros.

30 Este tipo de funcionamiento se puede presentar esquemáticamente como una operación matricial de impulsos de corriente donde los ejes son la amplitud (columnas) y el tiempo (filas). Este principio se eligió para la simulación informática de impulsos de corriente de conformación cuadrada o rectangular que realmente eran una suma de impulsos individuales.

35 Experimentalmente, se encontró que conformaciones típicas de impulsos de corriente adecuados incluyen principalmente impulsos de conformación de picos agudos. Conformaciones de impulsos típicas se muestran en las Figs. 5a y 5b. Los trazos 50a-a y 50a-b de corriente en el diagrama de la Fig. 5a corresponden a diferentes amplitudes de corriente de descarga (máximas). Los trazos 50b-a y 50b-b de la Fig. 5b son, respectivamente, los trazos de la corriente entre los electrodos en la unidad de descomposición y la corriente hacia la pieza de trabajo eléctricamente desviada. La conformación 50a-b de los impulsos se denomina un impulso de "triángulo roto" y se  
40 genera a una presión de funcionamiento superior a la usada para obtener la gráfica 50a-a y para una intensidad de campo magnético comparable a la usada para obtener la gráfica 50a-a.

45 El desvío de la pieza de trabajo se puede disponer de cualquier modo convencional. El hecho particular a considerar es que la corriente de desviación esté fuertemente limitada por la resistencia de la capa depositada. La desviación se puede realizar mediante un suministro de corriente separado, no mostrado.

De ahí que para investigar el funcionamiento de enfoque matricial se realizara una simulación informática. Se eligieron impulsos con conformación de triángulo, exponencial y de triángulo roto, véanse las Figs. 6a, 6b y 6c, respectivamente, que tienen todas picos agudos, para demostrar la posibilidad de producir impulsos de conformación rectangular al añadir impulsos elementales. El principio de producir impulsos compuestos de una conformación deseada se ilustra mediante los diagramas de las Figs. 7a - 7e. La diferencia entre las Figs. 7a - 7e es el retardo temporal entre los impulsos añadidos sucesivos. El impulso elemental es un impulso que tiene una conformación que decae exponencialmente. Se puede observar que cuando se disminuye el tiempo de retardo, el impulso rectangular pretendido empieza a ser reconocible.  
55

En las Figs. 8a - 8c, se muestran impulsos rectangulares relativamente bien conformados. La fluctuación depende del retardo temporal entre los impulsos elementales usados para generar los impulsos rectangulares ilustrados. La fluctuación dada en porcentaje se puede reducir casi hasta cero al disminuir el tiempo de retardo entre los impulsos elementales. También se puede observar que al disminuir el tiempo de retardo (o equivalentemente el porcentaje de fluctuación) se incrementa la amplitud (máxima) del impulso rectangular resultante. La amplitud (máxima) de los impulsos elementales se eligió para que fuera igual a 1 en los diagramas. Como se puede observar en la Fig. 8a, la amplitud del impulso resultante es igual a 9, y el porcentaje de fluctuación es un porcentaje bajo para el tiempo de retardo usado para derivar el rectangular resultante mostrado en este diagrama. Un bajo porcentaje de fluctuación no es crítico para la práctica debido a las ondas de alta frecuencia y las inestabilidades en el plasma que son siempre generadas por el impulso total de alta corriente (véanse las Figs. 4 y 5b). Los trazos suaves de los impulsos mostrados en la Fig. 5a se obtienen al separar por filtración las altas oscilaciones que son realmente detectadas por  
60  
65

la sonda de corriente usada para la medida. La gráfica de la Fig. 8d es diferente de la Fig. 8a solo en el número de impulsos sumados. Los parámetros usados para construir los diagramas de las Figs. 8a - d y las características resultantes son como sigue.

5

Tabla 1

Fig.	Tiempo de retardo $\Delta$ entre impulsos elementales	Número N de impulsos elementales sumados	Amplitud $A_{\Sigma}$ del impulso compuesto resultante	Longitud t	Fluctuación $\delta$
8a	0,01 $\tau$	40	9 A	5 $\tau$	~3%
8b	0,2 $\tau$	40	6 A	8 $\tau$	~20%
8c	0,3 $\tau$	40	3,5 A	12 $\tau$	~25%
8d	0,01-0,005 $\tau$	200	9 A	40 $\tau$	

10

donde  $\Delta$  es el tiempo de retardo entre los impulsos elementales sumados, N es el número total de impulsos elementales sumados,  $A_{\Sigma}$  es la amplitud máxima media del impulso sumado resultante, A es la amplitud máxima de cada impulso elemental, t es la longitud del impulso sumado resultante,  $\tau$  es el tiempo característico del descenso exponencial de los impulsos elementales, y  $\delta$  es la fluctuación dada en porcentaje de la amplitud de los impulsos elementales.

15

En la Fig. 8e, se ilustra la conformación de un impulso compuesto sumado que se forma al añadir impulsos con identidad de triángulo roto, del tipo mostrado en la Fig. 6d.

En la Fig. 8f, se ilustra la conformación de un impulso compuesto sumado que se forma al añadir impulsos con identidad de triángulo, del tipo mostrado en la Fig. 6a.

20

Como se puede observar, los tiempos de ascenso y descenso de los impulsos de conformación rectangular resultantes disminuyen con relación al tiempo t del impulso total cuando se incrementa el número N de impulsos elementales añadidos.

25

Generalmente, mediante un análisis de simulación informática realizado, se mostraba que se puede obtener un impulso rectangular al sumar impulsos elementales de casi cualquier tipo con la condición de que tengan picos agudos. Se puede considerar en la presente que "picos agudos" significa que el impulso elemental debe tener una conformación triangular en la región del pico, es decir no deben tener una región en sus picos que sea sustancialmente plana o en la que sean sustancialmente constantes. Alternativamente, los impulsos de corrientes elementales que tienen picos agudos se pueden tomar como impulsos de corriente que sean cortos en relación con el impulso de corriente compuesto formado, p. ej. más cortos que un quinto o un décimo de la longitud del impulso compuesto formado, siguiendo los impulsos elementales uno después de otro con intervalos de tiempo tan cortos, que, después del pico de un primer impulso, el primer impulso no alcance un nivel bajo hasta que se inicie el siguiente impulso. El nivel bajo se puede tomar en la presente adecuadamente como mayor que, p. ej., un cuarto de la altura del impulso o mejor la mitad del impulso o incluso superior. El impulso elemental puede tener así un tiempo de ascenso hasta el pico de una longitud entre, p. ej., un décimo de la longitud del impulso compuesto formado y sustancialmente cero, como se observa en las Figs. 6a - 8f, y un tiempo de descenso de una longitud más corta que un quinto o un décimo de la longitud del impulso compuesto. En la práctica, se puede conseguir una fluctuación de la amplitud deseada al ajustar el tiempo de retardo entre el inicio de los impulsos elementales.

30

35

40

El siguiente problema encontrado en PA CVD de alta corriente es el problema de la supresión del arco. Como ya se describió anteriormente, la formación del arco es un problema particularmente importante en procedimientos reactivos basados en gases que contienen carbono y para descargas a un cátodo hecho de grafito.

45

El método matricial para producir impulsos rectangulares deseados permite que todos los impulsos adicionales después de que se haya producido un arco se detengan, lo que se puede hacer relativamente rápidamente debido a los impulsos elementales cortos. Esto disminuye significativamente el problema en comparación con el método descrito en el documento citado por Mozgrin. Pero todavía esta detención rápida del suministro de impulsos elementales en muchos casos no es suficiente para alcanzar una supresión de arcos suficientemente eficaz. Esto se debe al hecho observado de que el arco muy raramente sigue como un solo episodio. Habitualmente, es una larga serie de arcos que siguen uno después de otro. En ese caso, el método mencionado de detener las descargas tendrá como máximo una eficacia de 50%. Esto es así debido a que cada vez que se detecta el siguiente arco en la sucesión, un nuevo impulso elemental ya ha empezado a generarse. En particular, el tiempo de transición desde la descarga luminiscente hasta la descarga en arco es tan corto que si se ha producido un arco, un controlador obviamente solo puede reaccionar después de la presencia y la detección del mismo. Usando este método, el daño producido por la formación del arco se puede reducir algo. Significa además que podría ser favorable si el método de supresión del arco mencionado se pudiera complementar con un método que permitiera reconocer un arco antes de que el arco se produjera realmente, p. ej., al detectar algún precursor, si hay alguno o es posible.

50

55

En una investigación experimental, se encontró que este precursor existe y aparece como oscilaciones de alta amplitud y alta frecuencia del voltaje de descarga y la corriente, véanse los diagramas de las Figs. 9a y 9b. En las Figs. 9a y 9b, se muestran los trazos de corriente eléctrica y voltaje antes de que se produzca un arco y después de que se haya formado un arco. Como se puede observar, las oscilaciones se producen antes de que el voltaje de  
 5 descarga caiga. El voltaje característico para descargas luminiscentes está en el intervalo de cientos de voltios, para descargas en arco está en el intervalo de unas pocas decenas de voltios y para las oscilaciones significativamente mayores que estos voltajes. En la Fig. 9a, la escala temporal es de 20 microsegundos/división y en la Fig. 9b es 1 microsegundo/división. La frecuencia medida de las oscilaciones precursoras del arco es de aproximadamente algunos MHz, p. ej. típicamente mayor de 1 MHz. El principio de supresión del arco básico es conectar de forma  
 10 corta la carga, es decir la unidad de descomposición, si se producen o se espera que se produzcan oscilaciones de alta frecuencia. La conexión corta tiene que estar dirigida por el dispositivo que produce el impulso elemental respectivo ya que es en el circuito de ese dispositivo en el que se pueden detectar las oscilaciones de alta frecuencia.

Un dispositivo para producir impulsos elementales de los tipos descritos anteriormente se muestra esquemáticamente en la Fig. 10. Incluye un dispositivo 41 de carga que está conectado a alguna línea de entrada de energía tal como la red de distribución eléctrica general. Genera corriente eléctrica continua y entre sus terminales de salida se conecta un capacitor 43 estabilizador. El capacitor estabilizador está conectado en un primer circuito 45 cerrado. Los terminales de salida también están a través de conmutadores 47 controlables, cada uno de los cuales  
 15 tiene un capacitor 15 protector conectado en paralelo, conectado a un inductor 51 acumulador. El capacitor estabilizador, los conmutadores y el inductor están conectados en un segundo circuito 53 cerrado. Un transformador 55 de corriente mide la corriente eléctrica en el segundo circuito 53. Los conmutadores 47 están en sus terminales que están conectados al inductor 51 también conectado a un diodo 57 y un capacitor 59 de descarga conectados en serie entre sí. El inductor 51, el diodo 20 y el capacitor de descarga están conectados en un tercer circuito cerrado  
 20 indicado en 61. Un cuarto circuito cerrado indicado en 63 está formado por una combinación en paralelo de un resistor 65, el hueco 67 ánodo-cátodo entre el ánodo 15a, 15b y el cátodo 7 de la unidad de descomposición y un conmutador 69 de cortocircuito, la combinación en paralelo conectada en paralelo con el diodo 57 a través de los conmutadores 71. El resistor 65 mantiene estos conmutadores 71 que pueden ser de tipo semiconductor en el régimen "encendido" después de que se haya generado un impulso activador. El ánodo puede estar conectado a tierra como se observa en 73. Una unidad 75 de control y comprobación está conectada a todos los conmutadores  
 25 47, 71 y 69 y al transformador 55 de corriente. Una unidad para la supresión del arco se puede incluir o conectar a la unidad de control y comprobación.

El dispositivo generador de impulsos elementales funciona como sigue. Un impulso elemental, p. ej. del tipo ilustrado por los diagramas de las Figs. 4, 5a y 5, se forma al descargar el capacitor 59 de descarga en el cuarto circuito 63 sobre el hueco 67 de descarga de la pila de descomposición a través del inductor 51 y los conmutadores 71  
 35 cerrados. A continuación, el capacitor de descarga se carga inicialmente hasta la energía  $W_c = 0,5 CU^2$  donde C es la capacitancia del capacitor y U es el voltaje sobre el capacitor. Antes de que la energía W se haya inyectado en el inductor 51 como la energía del campo magnético. Para eso, la corriente eléctrica se proporcionaba al inductor desde el capacitor 43 estabilizador cargado al cerrar los conmutadores 47. La energía del campo magnético es  $W_i = 0,5 LI^2$  donde L es la inductancia del inductor e I es la corriente que fluye en el inductor. A fin de transformar la energía  $W_i$  de campo magnético en energía  $W_c$  de campo eléctrico del capacitor, los conmutadores 47 se abren  
 40 después de que la corriente en el inductor 51 haya alcanzado el valor I. Esta corriente carga entonces el capacitor 59 de descarga en el tercer circuito 61. Esta corriente se mide simultáneamente mediante el transformador 55 de corriente. La carga del capacitor 29 de descarga se inicia después de que la magnitud (el valor absoluto) de la corriente I se haya incrementado hasta un valor fijado requerido o deseado, entonces se abren los conmutadores 47.

El voltaje U sobre el capacitor 59 de descarga es entonces igual a  $U = I(L/C)^{0,5}$ . El capacitor 43 estabilizador se carga hasta el voltaje  $U_0$  mediante el dispositivo 41 de carga. El voltaje U puede ser tan alto como sea necesario para la aplicación real. Por ejemplo, puede ser 2 kV para PA CVD pulsátil, o 20 kV para aplicaciones de alto voltaje. El voltaje  $U_0$  puede ser 12 V que es típico para una batería de coche. El principio de la transformación de bajo voltaje  $U_0$  en alto voltaje U se basa en la transformación intermedia de energía de un campo eléctrico en energía de campo magnético y a continuación de nuevo la transformación opuesta hasta energía de campo eléctrico. El circuito total no requiere transformador de alto voltaje. Además, el inductor 51 se usa inicialmente para cargar el capacitor 29 y  
 50 posteriormente para formar el impulso elemental sobre el hueco 67 de descarga. El conmutador 26 de cortocircuito se usa para la conexión corta del hueco de descarga de la pila de descomposición o desintegración si se detecta un precursor, véanse las Figs. 9a, 9b, de formación de arco.

El funcionamiento del circuito total se controla y comprueba mediante la unidad 28 de control. Los capacitores 49 protectores se usan para retirar los sobrevoltajes sobre los conmutadores 47 cuando están en un período de desconexión. El resistor 23 se elige tan alto como sea necesario para mantener los conmutadores 71 en un estado cerrado después de que haya pasado el impulso activado. Esto es necesario debido a que se aplica un alto voltaje al hueco 67 de descarga. La descarga comenzará después de un cierto tiempo que es necesario para el desarrollo de la descarga luminiscente.  
 60

65

5 En caso de formar impulsos compuestos a partir de impulsos elementales, una pluralidad de circuitos similares al de la Fig. 11a se pueden conectar en paralelo al ánodo 15a, 15b y el cátodo 7 del hueco de descarga. A continuación, se puede proporcionar alguna unidad de control superior, no mostrada, para dar los tiempos para comenzar las descargas para cada uno de estos circuitos. Por otro lado, los circuitos que generan impulsos elementales y en particular los sistemas de control y comprobación de los mismos pueden estar interconectados para dar el esquema cronológico deseado.

10 Los principios descritos para producir impulsos elementales así como impulsos rectangulares compuestos se pueden usar generalmente en CVD para, p. ej., otros diseños del hueco de los electrodos y se pueden usar también en otros campos técnicos en los que hay un alto riesgo de transformación de descargas luminiscentes, también llamadas descargas oscuras, en descargas en arco. También se puede usar especialmente para poner en marcha descargas en arco.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de deposición de vapores químicos activada plasmáticamente que comprende las etapas de:
  - 5 - proporcionar un recipiente (9) de vacío que tiene una presión relativamente baja o vacío, al que se proporciona un gas operativo que comprende una mezcla de un gas de descomposición o precursor, un gas reactivo y/o un gas de sublimación,
  - proporcionar una unidad (1, 3) de descomposición plasmática dentro del recipiente de vacío para descomponer el gas operativo que tiene moléculas complejas en radicales cargados o neutros, teniendo la unidad de descomposición plasmática un ánodo (15) y un cátodo (7), rodeando el ánodo al cátodo, y teniendo el cátodo un campo magnético intensificador y estando eléctricamente aislado del ánodo circundante,
  - 10 - proporcionar una unidad de procesamiento que incluye una cámara de procesamiento en la que se ha de disponer una pieza de trabajo que se va a revestir, proporcionándose la cámara de procesamiento dentro del recipiente de vacío, teniendo la cámara de procesamiento paredes (15) desde las que el ánodo (15a) se extiende en la cámara (16) de procesamiento, rodeando el cátodo (7) que tiene la conformación de placa en donde una superficie de dos superficies grandes es una superficie (5) libre que hace frente al interior de la cámara de procesamiento,
  - 15 - proporcionar una pieza (23) de trabajo en la cámara de procesamiento,
  - aplicar periódicamente impulsos de voltaje repetidos que tienen una sola polaridad entre el ánodo y el cátodo de la unidad de descomposición plasmática de tal modo que se produzcan descargas eléctricas pulsátiles entre el cátodo y una superficie interna del ánodo circundante de la unidad de descomposición plasmática, produciendo de ese modo un plasma en dicha superficie (5) libre del cátodo (7), caracterizado por las etapas adicionales de:
  - 20 - configurar una parte principal del ánodo (15a) como aletas que se extienden desde la superficie interior de las paredes (15) que tienen una primera porción que se extiende perpendicularmente desde la superficie interior de las paredes (15) y una porción extrema que se extiende en paralelo con la superficie libre del cátodo que se extiende al menos parcialmente sobre dicha superficie (5) libre del cátodo que hace frente al interior de la cámara de procesamiento, de modo que el ánodo (15a) incluya una porción superficial blindada para el revestimiento directo con partículas procedentes del plasma formado.
  - 25
2. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por disponer el ánodo de modo que incluya una porción superficial que haga frente o esté dirigida a una superficie libre del cátodo y situada en paralelo a dicha superficie libre, estando situada la porción superficial sobre una primera porción del ánodo situada entre dicha superficie libre y el plasma formado, de ese modo la porción superficial blindada para el revestimiento directo con partículas procedentes del plasma.
  - 30
3. Un método según la reivindicación 2, caracterizado por que el ánodo incluye una segunda porción situada en los bordes del cátodo, siendo la primera porción del ánodo parte de o extendiéndose directamente desde la segunda porción del ánodo para situarse sobre o cubrir una porción marginal de la superficie libre del cátodo según se observa desde un punto situado a una distancia de dicha superficie libre.
- 35 4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado por que al aplicar los impulsos de voltaje periódicamente repetidos, cada uno de los impulsos de voltaje se genera a partir de un impulso de corriente compuesto, en particular un impulso de corriente compuesto que tiene una conformación sustancialmente rectangular, la corriente compuesta formada al añadir impulsos de corriente de baja potencia unos a otros.
- 40 5. Un método según la reivindicación 4, caracterizado por que los impulsos de corriente de baja potencia añadidos tienen una conformación con un pico agudo, en particular impulsos que tienen una longitud más corta que un quinto o un décimo del impulso de corriente compuesto.
- 45 6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 4 - 5, caracterizado por proporcionar un generador para producir los impulsos de corriente que se añaden, comprendiendo el generador una línea de transformación de potencia entrante inicialmente en energía de un campo eléctrico, posteriormente en energía de un campo magnético y finalmente en energía de un campo eléctrico.
7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, caracterizado por que la supresión del arco se realiza mediante la conexión corta del ánodo y el cátodo de la unidad de descomposición plasmática antes de una presencia real de un arco.

8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, caracterizado por que una tendencia de transformación de una descarga desde una descarga luminiscente a una descarga en arco se detecta mediante la aparición de oscilaciones de alta frecuencia y alta amplitud del voltaje de descarga y la corriente.
- 5 9. Una unidad de descomposición plasmática (1, 3) para deposición de vapores químicos activada plasmáticamente que comprende: se ha de proporcionar un recipiente (9) de vacío que tiene una presión relativamente baja o vacío al que se añade un gas operativo que comprende una mezcla de un gas de descomposición o precursor, un gas reactivo y/o un gas de sublimación; una unidad de procesamiento de piezas de trabajo que incluye una cámara de procesamiento, estando dispuesta la cámara de procesamiento dentro del recipiente de vacío, teniendo la cámara de procesamiento paredes (15) desde las que se extiende un ánodo (15a) en la cámara (16) de procesamiento, rodeando un cátodo (7) que tiene la conformación de placa en donde una superficie de dos superficies grandes es una superficie (5) libre que hace frente al interior de la cámara de procesamiento; en donde se aplican impulsos de voltaje periódicamente repetidos entre el ánodo y el cátodo de tal modo que se produzcan descargas eléctricas pulsátiles entre el cátodo y una superficie interna del ánodo circundante de la unidad de descomposición plasmática, para formar un plasma en, fuera de y/o frente a dicha superficie libre del cátodo, caracterizado por que una parte principal del ánodo (15a) está configurada como aletas que se extienden desde la superficie interior de las paredes (15) que tienen una primera porción que se extiende perpendicularmente desde la superficie interior de las paredes (15) y una porción extrema que se extiende en paralelo con la superficie libre del cátodo que se extiende al menos parcialmente sobre dicha superficie (5) libre del cátodo que hace frente al interior de la cámara de procesamiento, en donde el ánodo está dispuesto de modo que al menos una porción del mismo bien sea eléctricamente conductora o bien tenga un revestimiento eléctricamente conductor, de modo que durante el funcionamiento de la unidad para deposición de vapores químicos activada plasmáticamente el ánodo incluya una porción superficial blindada para el revestimiento directo con partículas procedentes del plasma formado durante dicho funcionamiento.
- 10 10. Una unidad de descomposición plasmática según la reivindicación 9, caracterizada por que el ánodo incluye una primera porción situada en la proximidad directa de la superficie libre del cátodo, en particular una porción de aleta o borde situada o que se extiende sobre márgenes de la superficie libre del cátodo.
- 15 11. Una unidad de descomposición plasmática según la reivindicación 10, caracterizada por que la primera porción está situada entre la superficie libre del cátodo y el cuerpo del plasma formado cuando se hace funcionar la unidad de descomposición plasmática, incluyendo de ese modo la primera porción del ánodo una porción superficial blindada para el revestimiento directo con partículas procedentes del plasma.
- 20 12. Una unidad de descomposición plasmática según la reivindicación 11, caracterizada por que la porción superficial hace frente o está dirigida a la superficie libre del cátodo y está situada en paralelo a dicha superficie libre.
- 25 13. Una unidad de descomposición plasmática según cualquiera de las reivindicaciones 11 - 12, caracterizada por que el ánodo incluye una segunda porción situada en bordes del cátodo, siendo la primera porción del ánodo parte de o extendiéndose directamente desde la segunda porción del ánodo y situada sobre o cubriendo una porción marginal de la superficie libre del cátodo según se observa desde un punto situado a una distancia de dicha superficie libre.
- 30 14. Una unidad de descomposición plasmática según cualquiera de las reivindicaciones 9 - 13, caracterizada por que tiene sus propios espacios anódico y catódico, rodeando el ánodo el espacio catódico, y por que el cátodo tiene un campo magnético intensificador, tal como el proporcionado por un imán permanente situado tras el cátodo, y está eléctricamente aislado del ánodo circundante.
- 35 15. Una unidad de descomposición plasmática según cualquiera de las reivindicaciones 9 - 14, caracterizada por que la unidad de descomposición plasmática está dispuesta para emitir un haz divergente de radicales ionizados, iones y electrones que componen un plasma cuasineutro cuando se hace funcionar la unidad de descomposición plasmática conectada o situada en un recipiente de vacío que tiene una presión relativamente baja o vacío, al que se proporciona un gas operativo, en particular una mezcla de un gas de descomposición o precursor, un gas reactivo y/o un gas de sublimación.
- 40 16. Una unidad de descomposición plasmática según cualquiera de las reivindicaciones 9 - 15, caracterizada por que el haz plasmático se dirige perpendicularmente a la superficie del cátodo, teniendo el cátodo en particular una conformación plana y siendo particularmente circular o cuadrado.
- 45 17. Aparato para deposición de vapores químicos que incluye una cámara de procesamiento, caracterizado por una unidad de descomposición plasmática según cualquiera de las reivindicaciones 9 - 16.
- 50 18. Aparato según la reivindicación 17, caracterizado por que dos unidades de descomposición plasmática opuestas están dispuestas en la cámara de procesamiento.
- 55 60 65

19. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 17 - 18, caracterizado por que la cámara de procesamiento está dividida en dos partes separadas por un filtro o una trampa para precipitación y recombinación de radicales sólidos y volátiles, en particular de modo que bombas de vacío que mantienen la presión baja en el recipiente de vacío estén conectadas junto al filtro o la trampa para radicales y de ese modo estén protegidas de los radicales.

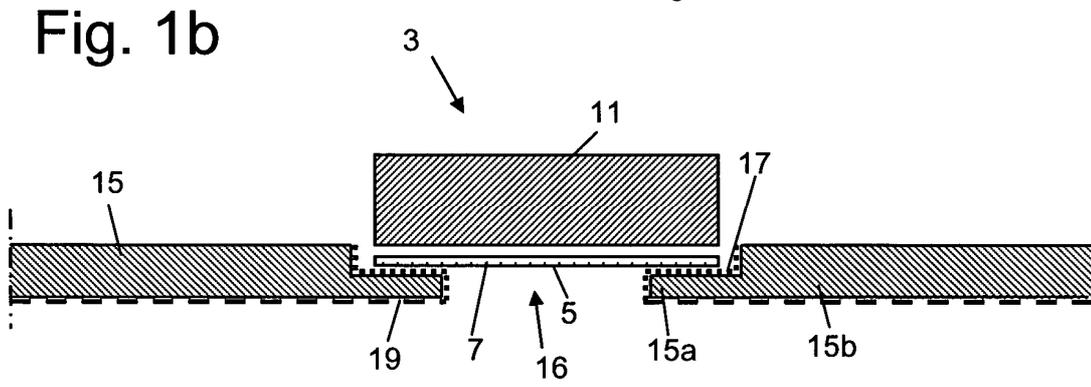
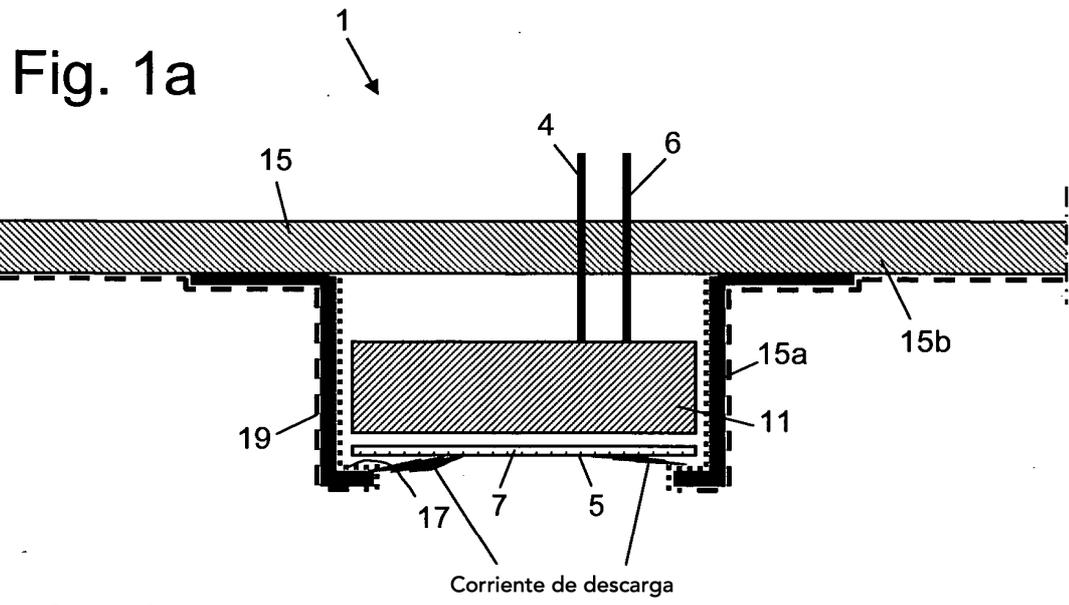


Fig. 2a

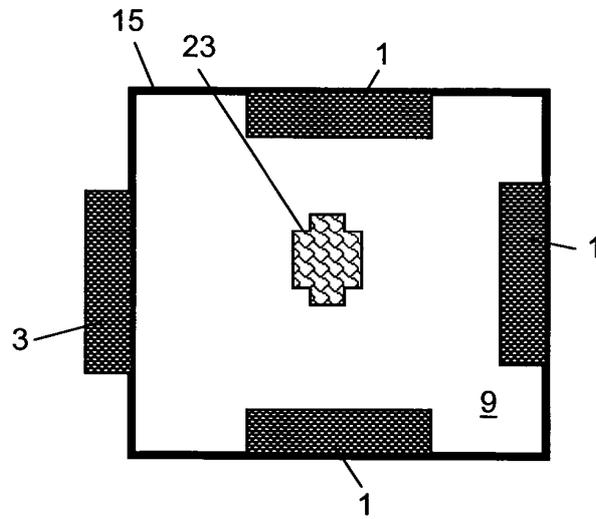


Fig. 2b

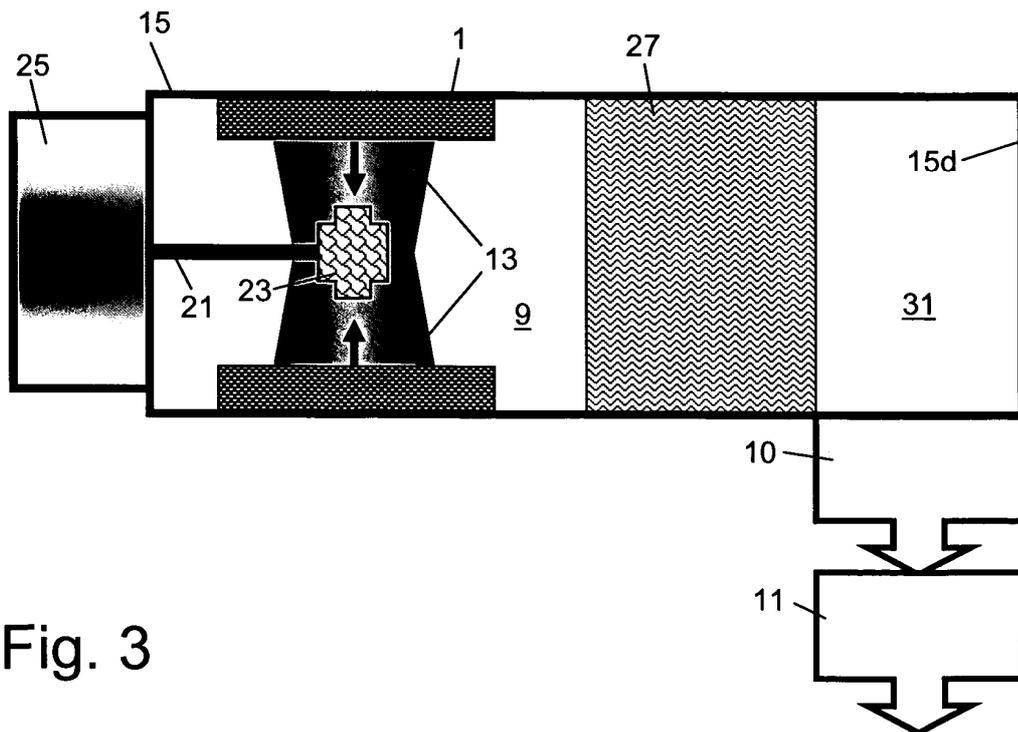
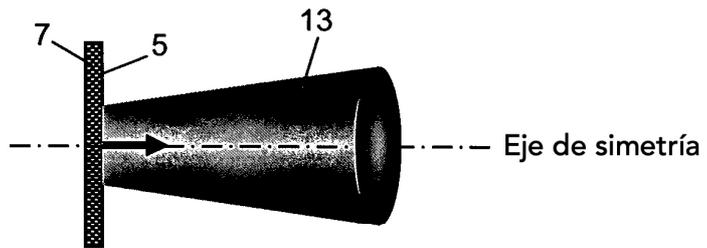


Fig. 3

Fig. 4

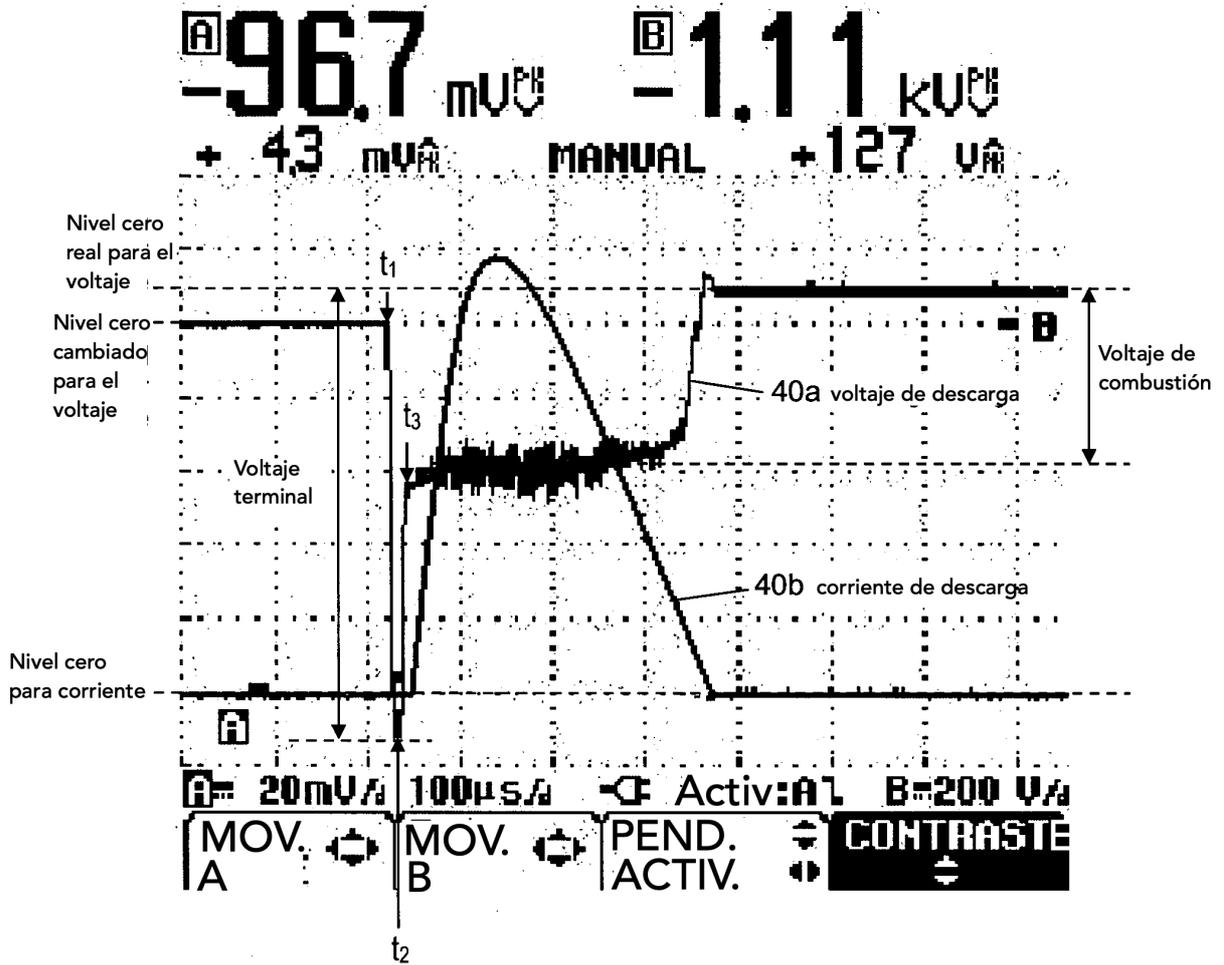


Fig. 5a

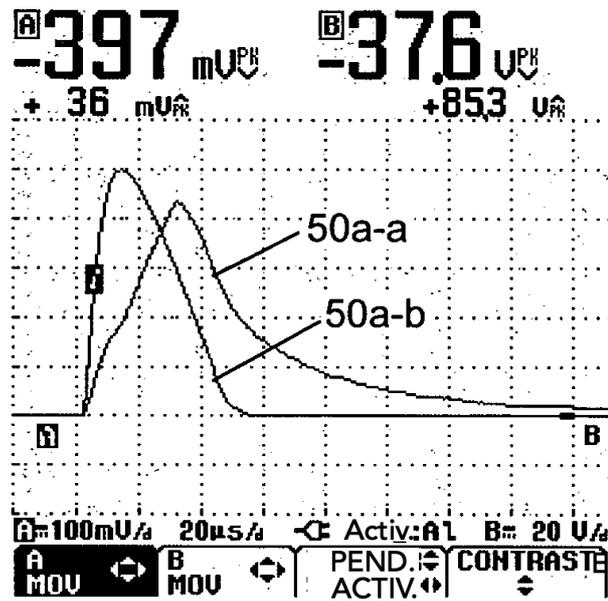


Fig. 5b

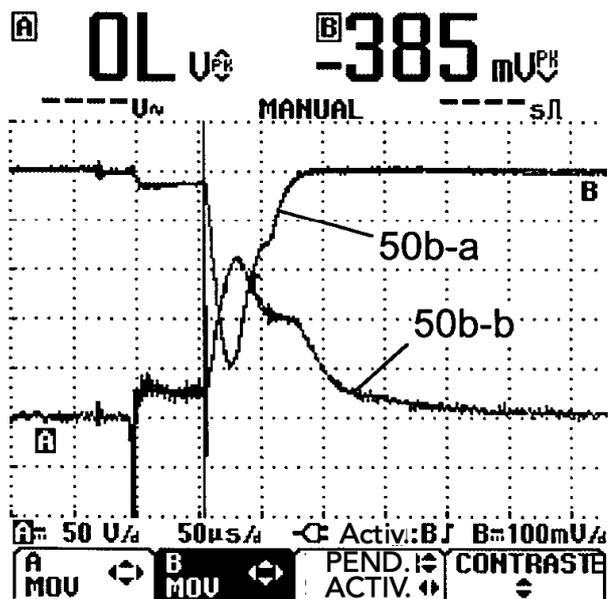


Fig. 6a

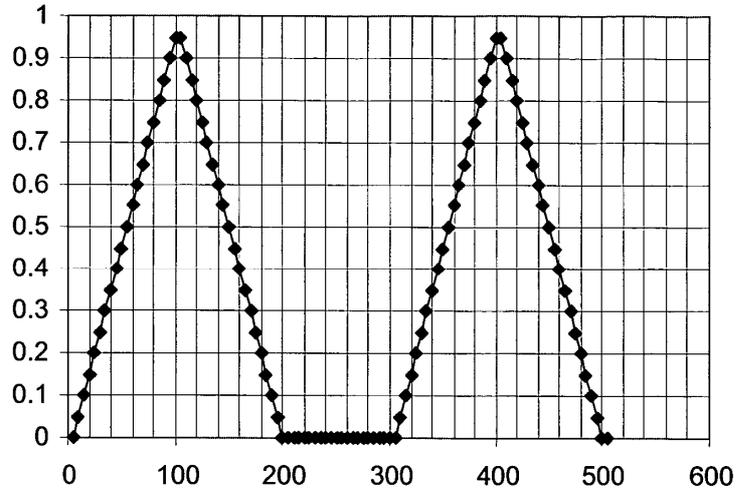


Fig. 6b

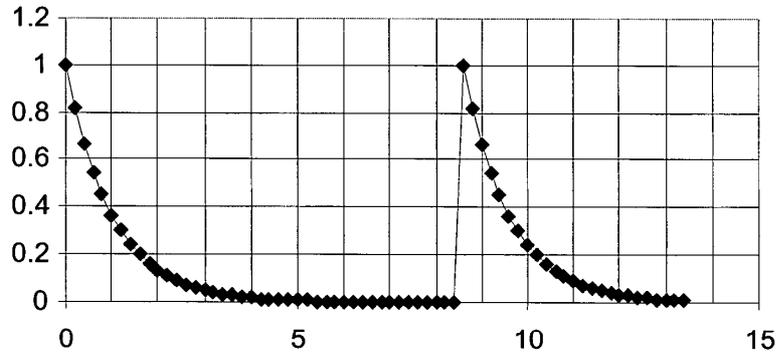


Fig. 6c

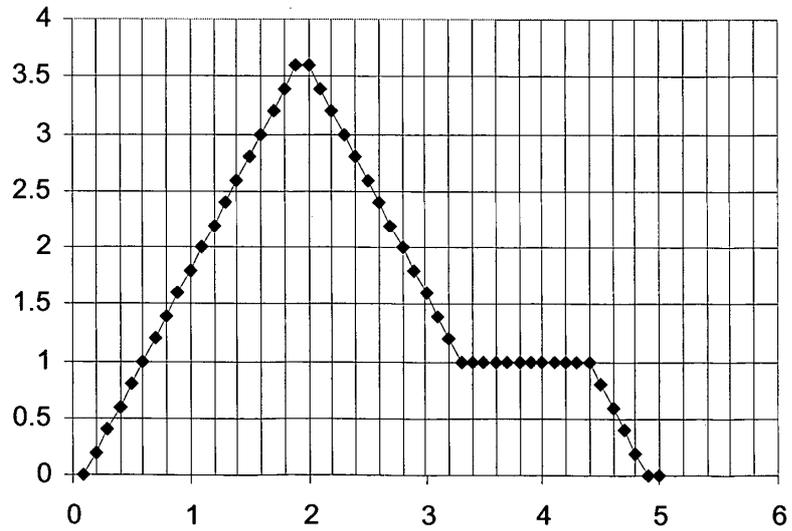


Fig. 7a

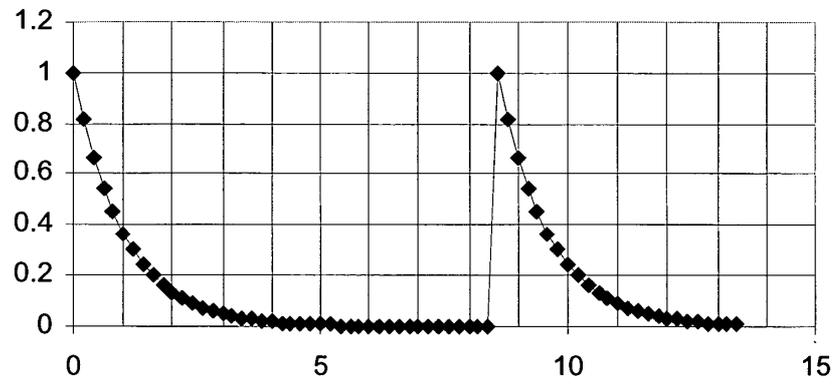


Fig. 7b

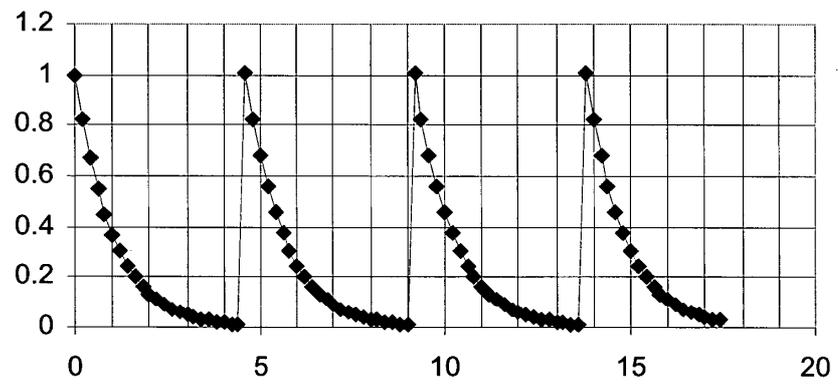


Fig. 7c

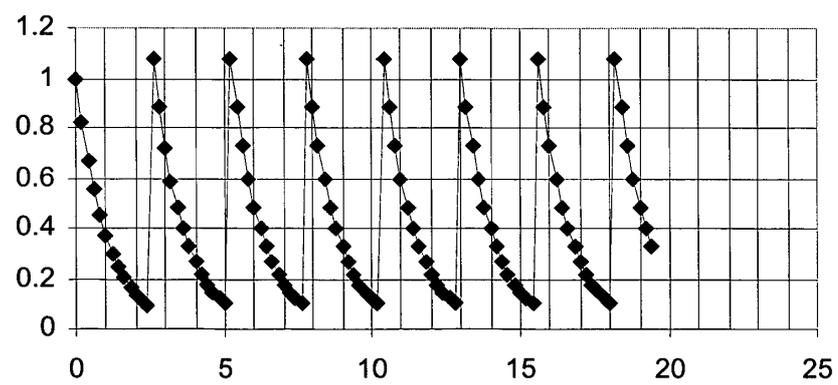


Fig. 7d

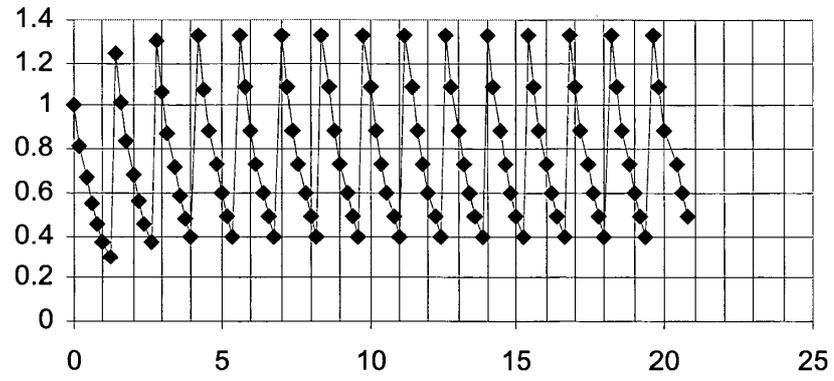


Fig. 7e

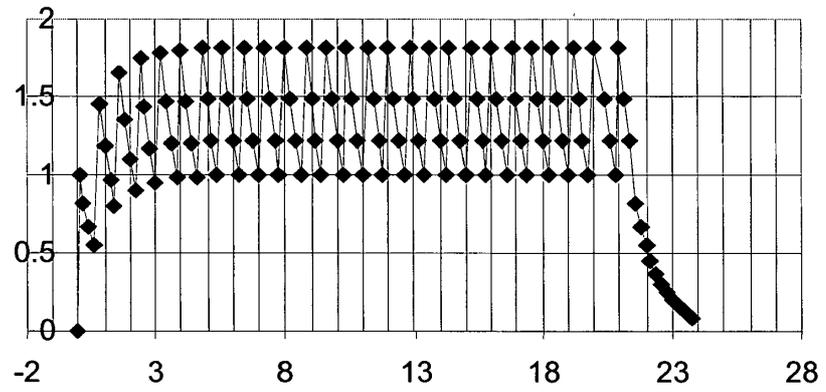


Fig. 8a

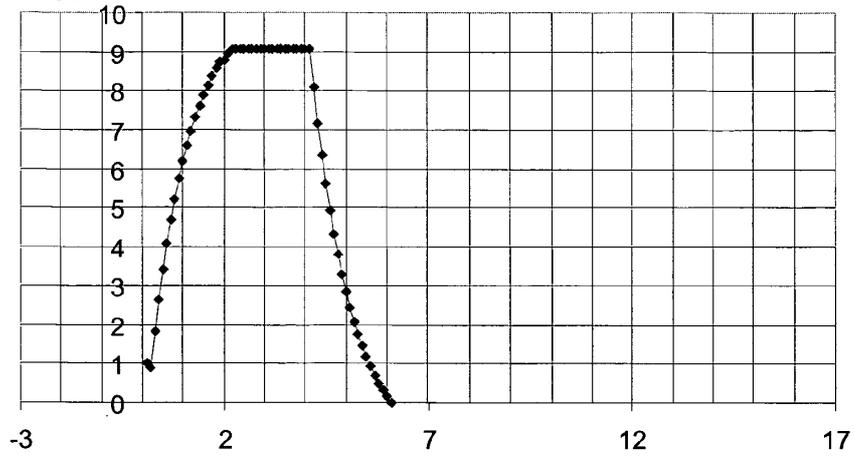


Fig. 8b

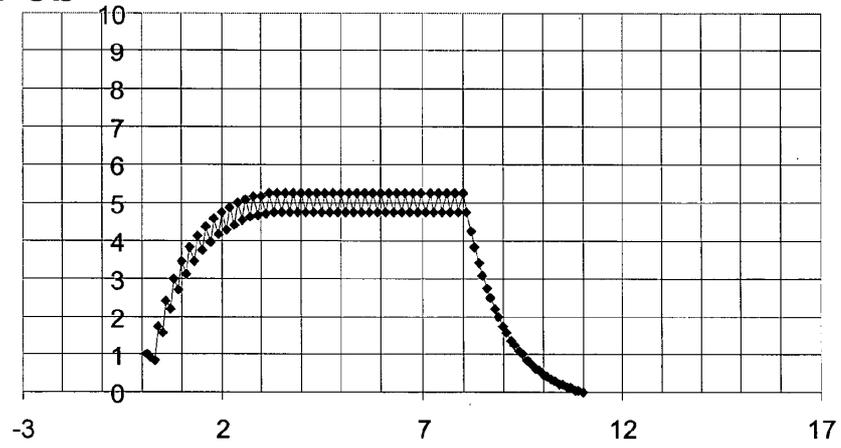


Fig. 8c

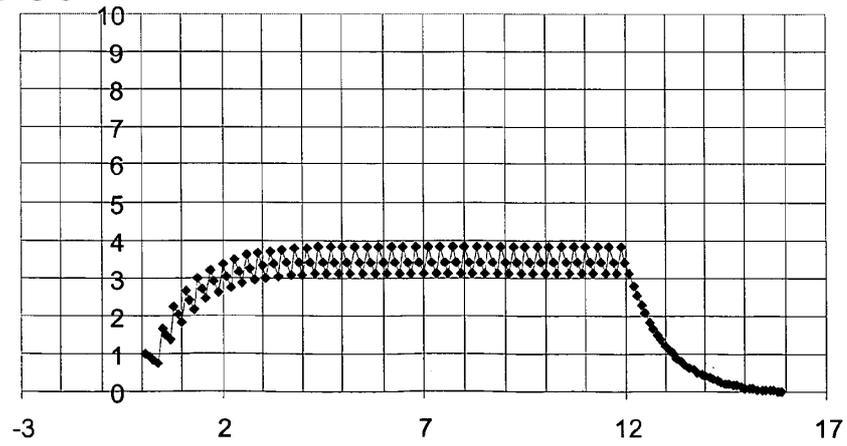


Fig. 8d

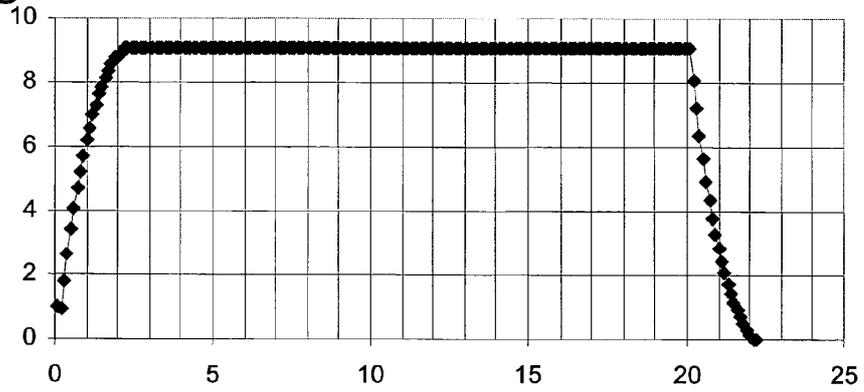


Fig. 8e

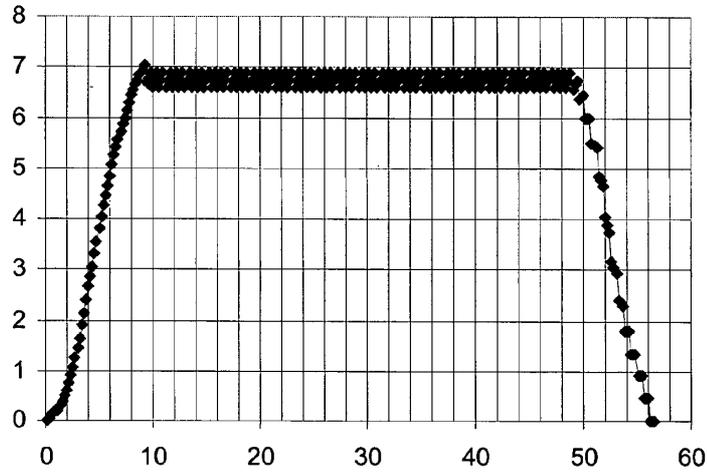


Fig. 8f

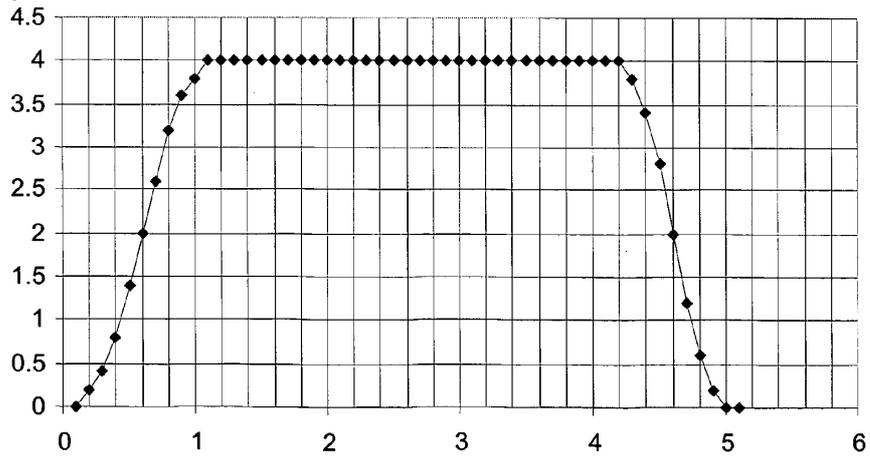


Fig. 9a

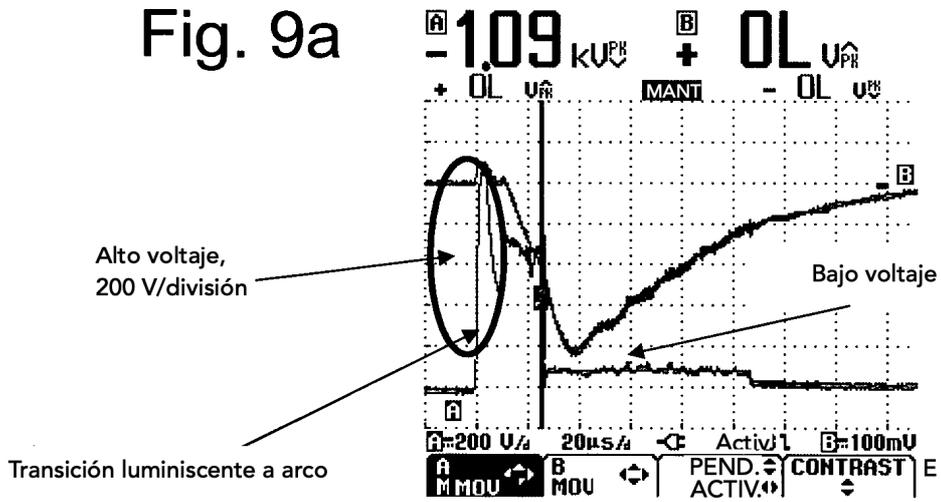


Fig. 9b

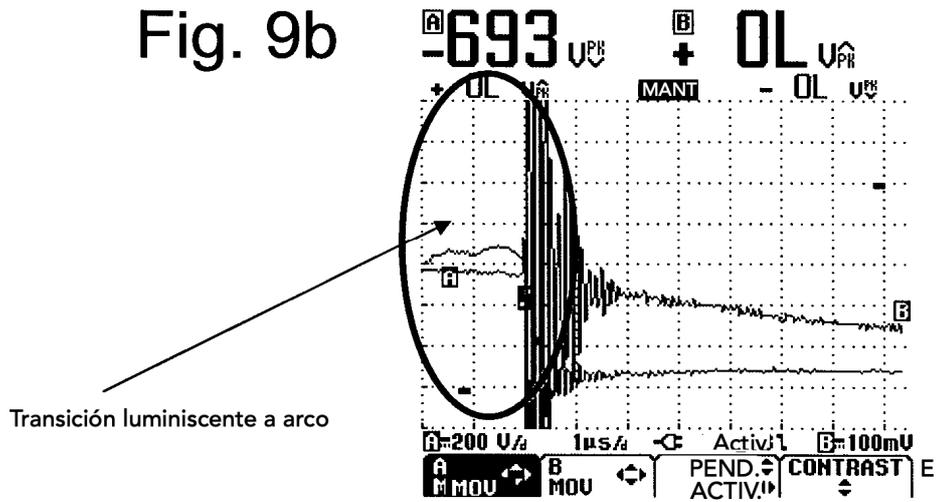




Fig. 11a

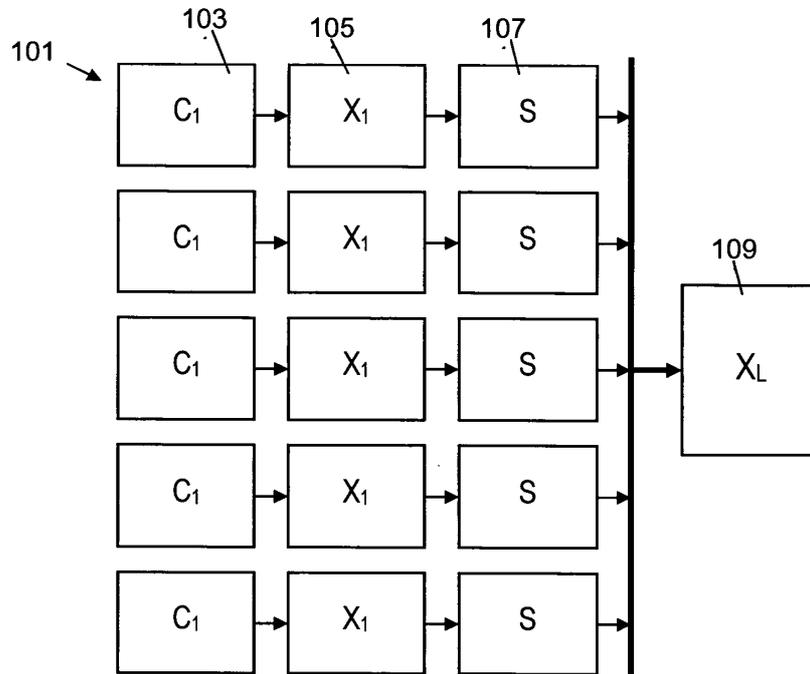


Fig. 11b

