

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 175**

51 Int. Cl.:
C23C 14/32 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/08 (2006.01)
F01D 5/28 (2006.01)
C23C 28/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06705365 .2**
96 Fecha de presentación: **01.03.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1864314**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.12.2007**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una fuente de vaporización con arco pulsada así como instalación de procesamiento en vacío con fuente de vaporización con arco pulsada**

30 Prioridad:
24.03.2005 CH 5182005
03.08.2005 CH 12892005

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.10.2012

73 Titular/es:
Oerlikon Trading AG, Trübbach
9477 Trübbach, CH

72 Inventor/es:
RAMM, Jürgen;
WIDRIG, Beno;
LENDI, Daniel;
DERFLINGER, Volker y
REITER, Andreas

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 388 175 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

Procedimiento para el funcionamiento de una fuente de vaporización con arco pulsada así como instalación de procesamiento en vacío con fuente de vaporización con arco pulsada

5 El invento se refiere a una instalación de procesamiento en vacío según el preámbulo de la reivindicación 1 para el tratamiento de superficies de pieza con una fuente de vaporización con arco así como a un procedimiento para el funcionamiento de una fuente de vaporización con arco según el preámbulo de la reivindicación 14.

10 El funcionamiento de las fuentes de vaporización con arco, conocidas también como cátodo de chispas, por medio de la alimentación con impulsos eléctricos se conoce en el estado de la técnica desde hace tiempo. Con las fuentes de vaporización con arco se pueden obtener de manera rentable tasas grandes de vaporización y con ello tasas grandes de depósito durante el recubrimiento. Además, la construcción de una fuente de esta clase se puede realizar técnicamente de una manera relativamente sencilla, siempre que no se impongan requerimientos altos al funcionamiento de los impulsos y que la generación de impulsos se limite exclusivamente más o menos al encendido de una descarga de corriente continua. Estas fuentes trabajan con intensidades típicas en el margen de aproximadamente 100 A y más y con tensiones de algunos voltios hasta algunas decenas de voltios, que se pueden obtener con fuentes de alimentación de corriente continua relativamente baratas. Un inconveniente esencial de estas fuentes es que en la zona de la mancha catódica se producen en la superficie de los targets fundidos, que se expanden rápidamente, con lo que se forman gotas, conocidas como "droplets", que son lanzadas en forma de salpicaduras y se condensan después en la pieza e influyen de manera no deseada en las propiedades de la capa. Así por ejemplo, debido a ello la estructura de la capa resulta no homogénea y la rugosidad de la superficie es deficiente. Con requerimientos altos de la calidad de la superficie es frecuente, que las capas así obtenidas no se puedan utilizar comercialmente. Por ello ya se intentó reducir este problema haciendo funcionar la fuente de vaporización con arco con un funcionamiento de generación de impulsos puro de la fuente de alimentación. Si bien con el funcionamiento de generación de impulsos se pudo incrementar en parte la ionización, incluso se influyó, según el ajuste de los parámetros de funcionamiento, negativamente en la formación de salpicaduras. La utilización de gases reactivos para el depósito de compuestos desde un target metálico en un plasma reactivo sólo era posible entonces de una manera muy limitada, en especial, cuando se debían crear capas no conductoras, es decir dieléctricas, como por ejemplo óxidos utilizando oxígeno como gas reactivo. El nuevo recubrimiento de las superficies del vaporizador con arco y de los contraelectrodos, tales como los ánodos y también otras partes de la instalación de procesamiento con arco con una capa no conductora inherente en este caso al proceso da lugar a condiciones totalmente inestables e incluso a la extinción del arco voltaico. En este caso se tendría que encender este siempre de nuevo o el desarrollo de proceso se vuelve con ello totalmente imposible.

35 En el documento EP 0 666 335 B1 se propone para el depósito de materiales puramente metálicos con un vaporizador de arco, que a la corriente continua se superponga una corriente pulsatoria para poder rebajar así la corriente continua de base y reducir la formación de salpicaduras. Para ello se necesitan corrientes pulsatorias hasta de 5000 A, que deben ser generadas con descargas de condensadores con una frecuencia relativamente baja de los impulsos en el margen de 100 Hz a 50 kHz. Se propone este procedimiento para evitar la formación de "droplets" durante la vaporización no reactiva de targets puramente metálicos con una fuente de vaporización con arco. En este documento no se expone una solución para el depósito de capas dieléctricas no conductoras.

40 Una disposición análoga a la descrita anteriormente en el documento EP 0 666 335 B1 se divulga en la publicación para información de solicitud de patente japonesa JP 01 9042574. En ella se quiere mejorar la rugosidad de la superficie de un recubrimiento. Para ello se propone alimentar una fuente de vaporización con arco con una corriente continua a la que se debe superponer una tensión de alta frecuencia (RF – 100 kHz a 100 MHz). La cámara de vacío de conecta como ánodo. En la figura se representa esta alimentación combinada como "Power Source 10 (rectángulo). Además, de la figura se desprende una disposición conocida para la aplicación de una tensión 11 continua de polarización al soporte del sustrato. De manera conocida se aplica el polo negativo al soporte del sustrato y el polo positivo a la masa de la instalación.

50 El documento US 4,645 895 describe una disposición para el tratamiento de la superficie de una pieza con un ánodo y un cátodo poco distanciados entre sí, que se alimentan con una corriente continua pulsada para generar una descarga entre este ánodo y el cátodo conectado a masa. Se trata de impulsos de corriente continua monopolares y la disposición funciona intermitentemente con una frecuencia relativamente baja, de manera, que siempre es necesario encenderla de nuevo.

55 El recubrimiento reactivo con fuentes de vaporización con arco posee una reactividad y una estabilidad del proceso deficientes, en especial en la obtención de capas aislantes. Contrariamente a otros procesos PVD (por ejemplo pulverización catódica) sólo se pueden obtener con la vaporización con arco capas aislantes con targets eléctricamente conductores. El funcionamiento con alta frecuencia, como sucede en el caso de la pulverización catódica, falló hasta ahora debido a la falta de una técnica para el funcionamiento de fuentes de alimentación con corrientes y con frecuencias altas. El funcionamiento con fuentes de alimentación pulsadas parece ser una opción. Sin embargo, en este caso es preciso, que la chispa sea encendida, como ya se mencionó, siempre de nuevo o la frecuencia de los impulsos tiene que

ser elegida tan alta, que no se extinga el arco. Esto parece funcionar en cierto modo en las aplicaciones para materiales especiales como grafito.

5 Con superficies oxidadas de los targets no es posible el nuevo encendido por medio del contacto mecánico y de fuentes de alimentación de corriente continua. Otras clases de procesos de encendido rápidos son técnicamente costosos y su frecuencia de encendido es limitada. El problema propiamente dicho de la vaporización reactiva con arco es el recubrimiento con capas aislantes del target y del ánodo, respectivamente la cámara de recubrimiento. Estos recubrimientos elevan la tensión de combustión de la descarga de chispas, dan lugar a salpicaduras y a un salto de chispas más frecuentes, a un proceso no estable, que finaliza con la interrupción de la descarga de la chispa. A ello se suma la ocupación del target con el crecimiento de islas, que reduce la superficie conductora. Un gas reactivo muy diluido (por ejemplo una mezcla de argón y oxígeno) puede retardar el crecimiento en el target, pero no soluciona el problema fundamental de la inestabilidad del proceso. Si bien la propuesta según el documento US 5,103,766 de hacer funcionar el cátodo y el ánodo de manera alternativa siempre con un nuevo encendido contribuye a la estabilidad del proceso, da lugar a una mayor cantidad de salpicaduras.

15 El recurso de una fuente de alimentación pulsada, como es por ejemplo posible en la pulverización catódica reactiva, no es viable en la vaporización de chispas clásica. Esto se debe a que una descarga de efluvios "vive más tiempo" que una chispa, cuando se interrumpe la aportación de corriente.

20 Para soslayar el problema del recubrimiento del target con una capa aislante se separan localmente en los procesos reactivos para la obtención de capas aislantes, la entrada del gas reactivo y el target (entonces sólo se garantiza la reactividad del proceso, cuando la temperatura en el sustrato permite una oxidación/reacción) o se procede a una separación entre las salpicaduras y la parte ionizada (conocida como "filtered arc") y el gas reactivo se agrega al vapor ionizado después del filtrado. La solicitud anterior de patente con el número de solicitud CH 00518/05 divulga esencialmente una solución de este problema y el invento presentado en la solicitud de patente actual representa un perfeccionamiento, que solicita la prioridad de esta solicitud, con lo que esta forma parte integrante de esta solicitud.

25 Contrariamente a la pulverización catódica, el recubrimiento por medio de chispas catódicas es esencialmente un proceso de vaporización. Se sospecha, que en la transición entre la mancha caliente del cátodo y su borde son arrastradas partículas, cuyo tamaño no es de orden atómico. Estos conglomerados inciden como tales en el sustrato y aparecen en forma de capas rugosas, que no pueden reaccionar de una manera completa en la proyección. Hasta el presente no fue posible evitar, respectivamente dividir estas salpicaduras y menos para los procesos de recubrimiento reactivos. En estos se forma adicionalmente sobre el cátodo de chispas, por ejemplo en una atmósfera de oxígeno, una delgada capa de óxido, que tiende a una mayor formación de salpicaduras. En la solicitud de patente CH 00 518/05 antes mencionada se expuso una primera solución especialmente buena para superficies de target totalmente reaccionadas y que da lugar a una formación manifiestamente menor de salpicaduras. A pesar de ello es deseable una reducción adicional de las salpicaduras y de su tamaño.

35 También existe el deseo de una posibilidad adicional de reducción, respectivamente de graduación de la carga térmica de los sustratos y de la posibilidad de realizar procesos con baja temperatura en el recubrimiento catódico con chispas.

En el documento WO-03018862 se describe el funcionamiento pulsado de fuentes de plasma como una posibilidad para reducir la carga térmica en el sustrato. Sin embargo, las razones expuestas allí son probablemente válidas en el margen de los procesos de pulverización catódica. No se establece ninguna relación con la vaporización por chispas.

En relación con el estado de la técnica se exponen en lo que sigue a título de resumen los siguientes inconvenientes:

- 40 1. La reactividad es insuficiente en los recubrimientos con vaporización catódica con arco
2. No existe una solución fundamental del problema de las salpicaduras: los conglomerados (salpicaduras) no se someten a una reacción completa -> rugosidad de la superficie de la capa, uniformidad de la estructura de la capa y de la estequiometría.
3. No son posibles procesos estables para el depósito de capas aislantes.
- 45 4. La posibilidad de una ionización final de las salpicaduras es insuficiente.
5. Insuficientes posibilidades para realizar procesos con baja temperatura.
6. Una reducción adicional de la carga térmica de los sustratos no es suficiente.

50 El objeto del presente invento es eliminar los inconvenientes antes mencionados del estado de la técnica. El objeto reside en especial en el hecho de depositar las capas de una manera más rentable con al menos una fuente de vaporización con arco de tal modo, que se incremente la capacidad de reacción durante el proceso por medio de una ionización mejor del material vaporizado y del gas reactivo, que participa en el proceso. En este proceso reactivo se debe reducir

5 esencialmente el tamaño y la frecuencia de las salpicaduras, en especial en los procesos reactivos para la obtención de capas aislantes. Además, debe ser posible un mejor control del proceso, como por ejemplo el control de la tasa de vaporización, el aumento de la calidad de la capa, la posibilidad de ajuste de las propiedades de la capa, la mejora de la homogeneidad de la reacción así como la reducción de la rugosidad de la superficie de la capa depositada. Estas mejoras también tienen especial importancia en la obtención de capas y/o de aleaciones graduadas.

10 La estabilidad de los procesos reactivos para la obtención de capas aislantes debe ser incrementada de una manera general. Además, debe ser posible realizar un proceso con baja temperatura, incluso con una elevada rentabilidad del procedimiento. También debe ser posible mantener bajo el coste necesario para el dispositivo y en especial para el suministro de potencia para el funcionamiento pulsado. Los cometidos mencionados más arriba pueden aparecer tanto individualmente, como también en combinaciones dependientes del campo de aplicación exigido.

El problema se soluciona según el invento con una instalación de procesamiento en vacío según la reivindicación 1 y con un procedimiento según la reivindicación 14. Las reivindicaciones subordinadas definen otras formas de ejecución ventajosas.

15 El problema se soluciona según el invento por el hecho de que una instalación de procesamiento en vacío para el tratamiento de la superficie de piezas se provee de al menos una fuente de vaporización con arco conectada con una fuente de alimentación de corriente continua, que representa un primer electrodo, previendo, además, un segundo electrodo dispuesto separado de la fuente de vaporización con arco y por el hecho de que los dos electrodos están conectados con una fuente de alimentación de corriente pulsada. Entre los dos electrodos funciona por ello una distancia de descarga adicional con una sola alimentación con corriente pulsada, que hace posible una ionización especialmente alta de los materiales participantes unida a un control muy bueno del proceso.

20 El segundo electrodo puede ser en este caso otra fuente de vaporización con arco, una fuente de pulverización catódica, como por ejemplo con preferencia una fuente de magnetrón, un soporte de la pieza, respectivamente la pieza misma, con lo que el segundo electrodo funciona en este caso como electrodo de polarización o que el segundo electrodo se puede configurar como crisol de vaporización, que forma el ánodo de un vaporizador con arco de bajo voltaje.

25 Una configuración especialmente preferida es aquella en la que los dos electrodos son los cátodos de cada fuente de vaporización con arco y en la que estas fuentes de vaporización con arco están conectadas ambas directamente con una fuente de alimentación de corriente continua para el mantenimiento de la corriente de chispa de tal modo, que los arcos, respectivamente las descargas de arco de las dos fuentes no se extingan en el funcionamiento bipolar con la fuente de alimentación con corriente pulsada. Por lo tanto, en esta configuración sólo se necesita una fuente de alimentación con corriente pulsada, ya que esta se conecta directamente entre los dos cátodos del vaporizador con arco. Además del alto grado de ionización y del buen control del proceso también se obtiene un grado de rendimiento alto de la disposición. Entre estos dos electrodos y de la distancia de descarga pulsada creada con ello adicionalmente se forma frente a esta distancia de descarga eléctricamente un impulso bipolar con componentes negativos y positivos, con lo que se puede aprovechar para el proceso a totalidad de la duración del periodo de esta tensión alterna inyectada. De hecho, no se producen pausas no deseadas entre los impulsos y tanto el impulso negativo, como también el positivo contribuyen conjuntamente sin interrupción al proceso. Esto conduce a la reducción de las salpicaduras, estabiliza los procesos de recubrimiento reactivos, incrementa la reactividad y la tasa de depósito sin tener que recurrir a fuentes de alimentación con corriente pulsada caras. Esta disposición con dos fuentes de vaporización de arco se presta especialmente para el depósito de capas con un target metálico utilizando un gas reactivo. Los procesos de plasma realizados con gases nobles, como argón, son, como se sabe, bastante estables. En el momento en el que intervienen gases reactivos para poder depositar diferentes compuestos metálicos y semimetálicos se hace más difícil el desarrollo del proceso, ya que entonces se desplazan los parámetros del proceso y surgen, como consecuencia, faltas de estabilidad, que incluso pueden hacer imposible el desarrollo del proceso. Este problema se manifiesta en especial, cuando se deban obtener capas no conductoras, como en especial capas oxídicas, utilizando oxígeno como gas reactivo. La disposición mencionada más arriba con dos fuentes de vaporización con arco soluciona este problema de una manera sencilla. Con esta disposición es incluso posible prescindir totalmente de gases de apoyo, tales como argón, y se puede trabajar con un gas reactivo puro, incluso de manera sorprendente con oxígeno puro. Con el alto grado de ionización alcanzable con ello, tanto del material vaporizado, como también del gas reactivo, como por ejemplo con oxígeno, se obtienen capas no conductoras con una alta calidad, que se aproximan a la calidad del material principal. El proceso se desarrolla en este caso de una manera muy estable y, sorprendentemente, también se reduce drásticamente o casi se evita totalmente la formación de salpicaduras. Sin embargo, las ventajas mencionadas más arriba también pueden ser obtenidas con la utilización de otras fuentes como segundo electrodo, como un electrodo de pulverización catódica, un electrodo de polarización, un electrodo auxiliar o un crisol de vaporización con arco de bajo voltaje, a pesar de que los resultados ventajosos mencionados pueden ser alcanzados en la misma medida que en la configuración de la disposición con dos vaporizadores de arco.

El invento se describirá en lo que sigue a título de ejemplo y de manera esquemática por medio del dibujo. En él muestran:

La figura 1, una representación esquemática de una instalación de vaporización con arco, como la que equivale al estado de la técnica;

la figura 2, una disposición según el invento con dos fuentes de vaporización con arco alimentadas con corriente continua en el funcionamiento con un impulso de alta intensidad superpuesto;

5 la figura 3, una disposición con dos fuentes de vaporización con arco alimentadas con corriente continua y con una alimentación con impulsos de alta intensidad conectada entre ellas según el invento en el funcionamiento sin masa;

la figura 4, una disposición con fuente de vaporización con arco alimentada con corriente continua y con un segundo electrodo como soporte del sustrato y con una fuente de alimentación con impulsos de alta intensidad conectada entre ellas;

10 la figura 5, una disposición con una fuente de vaporización con arco activada con corriente continua y con el segundo electrodo como fuente de pulverización catódica con magnetrón activada con corriente continua con alimentación con impulsos de alta intensidad conectada entre ellas;

la figura 6, una disposición con una fuente de vaporización con arco alimentada con corriente continua y con un segundo electrodo como crisol de vaporización de una disposición de vaporización con arco de bajo voltaje y con una alimentación con impulsos de alta intensidad conectada entre ellos;

15 la figura 7, la forma de los impulsos de tensión de la fuente de alimentación con impulsos de alta intensidad.

En la figura 1 se representa una instalación de procesamiento en vacío con una disposición conocida a través del estado de la técnica para el funcionamiento de una fuente 5 de vaporización con arco con una fuente 13 de alimentación con corriente continua. La instalación 1 está equipada con un sistema 2 de bombeo para generar el vacío necesario en la cámara de la instalación 1 de procesamiento en vacío. El sistema 2 de bombeo hace posible el funcionamiento de la instalación de recubrimiento con presiones inferiores a 10^{-1} mbar y también garantiza el funcionamiento con los gases reactivos típicos, como O_2 , N_2 , SiH_4 , hidrocarburos, etc. Los gases reactivos entran en la cámara 1 a través de una entrada 11 de gas y se distribuyen en ella correspondientemente. Adicionalmente es posible introducir a través de otras entradas de gas gases reactivos adicionales o también gases nobles, como argón, si ello fuera necesario, para utilizar los gases individualmente y/o mezclados. El soporte 3 para las piezas dispuesto en la instalación sirve para el alojamiento y el contactado eléctrico de las piezas no representadas aquí, que se fabrican usualmente con materiales metálicos o cerámicos y que se recubren en estos procesos con capas de material duro o de protección contra desgaste. Una fuente 4 de alimentación de tensión de polarización está conectada eléctricamente con el soporte 3 para las piezas para la aplicación de una tensión de sustrato, respectivamente una tensión de polarización a las piezas. La fuente 4 de alimentación con tensión de polarización puede ser una fuente de alimentación con corriente continua, con corriente alterna o una fuente de alimentación con corriente bipolar, respectivamente unipolar pulsada del sustrato. A través de una entrada 11 de gas de proceso se puede introducir un gas noble, respectivamente un gas reactivo para fijar y controlar la presión del proceso y la composición total del gas en la cámara de tratamiento.

De la fuente 5 de vaporización con arco forma parte un target 5' con placa de enfriamiento dispuesta detrás y con preferencia con un sistema magnético, un dedo 7 de encendido dispuesto en la zona periférica de la superficie del target así como un ánodo 6, que rodea el target. Con un interruptor 14 es posible elegir entre un funcionamiento flotante del ánodo 6 del polo positivo de la fuente 13 de alimentación y un funcionamiento con potencial cero, respectivamente de masa definido. Con el dedo 7 de encendido se establece, por ejemplo durante el encendido del arco de la fuente 5 de vaporización con arco un contacto de pequeña duración con el cátodo, retirándolo después, con lo que se enciende una chispa. El dedo 7 de encendido está conectado para ello, por ejemplo a través de una resistencia limitadora de la intensidad con potencial de ánodo.

La instalación 1 de procesamiento en vacío se puede equipar adicionalmente de manera facultativa, si el desarrollo del proceso lo hiciera necesario, con una fuente 9 de plasma adicional. En este caso se configura la fuente 9 de plasma como fuente para generar un arco de bajo voltaje con cátodo caliente. El cátodo caliente se configura por ejemplo como filamento dispuesto en una pequeña cámara de ionización en la que se introduce por medio de una entrada 8 de gas un gas de trabajo, como por ejemplo argón para generar una descarga de arco de bajo voltaje, que se extiende en la cámara principal de la instalación 1 de procesamiento en vacío. En la cámara de la instalación 1 de procesamiento en vacío se dispone, posicionado correspondientemente, un ánodo 15 auxiliar para generar la descarga de arco de bajo voltaje, que se activa de manera en sí conocida con una fuente de alimentación con corriente continua dispuesta entre el cátodo y la fuente 9 de plasma y el ánodo 15. En caso necesario se pueden prever bobinas 10, 10' adicionales, que se colocan alrededor de la instalación 1 de procesamiento en vacío para el enfoque magnético, respectivamente la conducción del plasma de arco de bajo voltaje.

De acuerdo con el invento se prevé ahora junto a una primera fuente 5 de vaporización con arco con el electrodo 5' de target una segunda fuente 20 de vaporización con arco con el segundo electrodo 20 de target, como se representa en la

figura 2. Las dos fuentes 5, 20 de vaporización con arco funcionan cada una con una fuente de alimentación 13 y 13' con corriente continua de tal modo, que las fuentes de alimentación con corriente continua garanticen con una corriente de base el mantenimiento de la descarga del arco. Las fuentes 13, 13' de alimentación con corriente continua se ajustan al estado actual de la técnica y se pueden realizar de una manera barata. Los dos electrodos 5', 20', que forman los cátodos de las dos fuentes 5, 20 de vaporización con arco están conectados de acuerdo con el presente invento con una sola fuente 16 de alimentación de corriente pulsada, que es capaz de ceder a los dos electrodos 5', 20' intensidades de impulso altas con una forma y una pendiente de los flancos de los impulsos definidas. En la disposición representada en la figura 2 se refieren los ánodos 6 de las dos fuentes 5, 20 de vaporización con arco al potencial eléctrico de la masa de la instalación 1 de procesamiento.

5
10
15

Como se representa en la figura 3 también es, sin embargo, posible que las descargas de chispas funcionen sin masa. En este caso se conecta la primera fuente 13 de alimentación con corriente continua con su polo negativo con el cátodo 5' de la primera fuente 5 de vaporización con arco y el polo positivo de esta se conecta con el ánodo enfrentado de la segunda fuente 20 de vaporización con arco. La segunda fuente 20 de vaporización con arco se hace funcionar de manera análoga y la segunda fuente 13' de alimentación con corriente continua está conectada con el polo positivo del ánodo de la primera fuente 5 de vaporización con arco.

20

Este funcionamiento enfrentado de los ánodos de las fuentes de vaporización con arco da lugar a una ionización mejorada de los materiales durante el proceso. El funcionamiento sin masa, respectivamente el funcionamiento flotante de la fuente 5, 20 de vaporización con arco también puede tener lugar, si n embargo, sin la utilización de las alimentaciones enfrentadas de los ánodos. Además, es posible prever un interruptor 14 para poder conmutar a elección entre funcionamiento sin masa y funcionamiento con masa. Como en el caso anterior, los dos electrodos, 5', 20', que forman los cátodos de las dos fuentes 5, 20 de vaporización con arco están conectados de acuerdo con el presente invento con una única fuente 16 de alimentación con plasma.

25

La alimentación para este "Dual Pulsed Mode" debe poder cubrir diferentes márgenes de impedancia y ser, a pesar de ello, "dura" desde el punto de vista de la tensión. Esto significa, que la alimentación tiene que suministrar intensidades grandes , pero que al mismo tiempo pueda funcionar a pesar de ello de una manera ampliamente estable desde el punto de vista de la tensión. Un ejemplo de una alimentación de esta clase se presenta paralelamente y con la misma fecha con el nº....

30

El primer y preferido campo de aplicación de este invento es el de la vaporización catódica con chispa con dos fuentes 5, 20 de vaporización con arco pulsadas, como se representa en la figura 2. Para estas aplicaciones se hallan las impedancias en el margen de aproximadamente 0,01 Ω a 1 Ω . Sin embargo, aquí es preciso indicar, que usualmente las impedancias de las fuentes entre las que se "pulsa de manera dual" son distintas. Esto se puede deber a que estas se componen de materiales, respectivamente aleaciones distintas, a que el campo magnético de las fuentes es distinto o a que el consumo de material de las fuentes se halle en un estado distinto. El "Dual Pulsed Mode" sólo permite una igualación por medio del ajuste del ancho del impulso, de manera, que las dos fuentes trabajen con la misma intensidad.

35

La consecuencia de ello son tensiones distintas en las fuentes. Naturalmente, también es posible que la alimentación sea asimétrica desde el punto de vista de la intensidad, si ello fuera deseable para el desarrollo del proceso, como es por ejemplo el caso de las capas graduadas de materiales distintos. La estabilidad de la tensión de una fuente de alimentación se puede obtener cada vez con mayor dificultad, cuanto menor sea la impedancia del correspondiente plasma. Por ello son a veces ventajosas las longitudes pequeñas de los impulsos. La capacidad de conmutación, respectivamente el control de una fuente de alimentación desde el punto de vista de distintas impedancias de salida es por ello especialmente ventajoso, si se quiere aprovechar la totalidad del margen de su potencia, es decir, por ejemplo, en el margen de 500 V/100 A a 50 V/1000 A. o como se realiza en la solicitud paralela nº...

40

Las ventajas de una disposición de cátodos con pulsado dual y, en especial, formada por dos fuentes de vaporización con arco son en resumen las siguientes:

- 45
1. Una mayor emisión de electrones con impulsos con una pendiente grande tiene lugar en una intensidad más alta (también intensidad del sustrato) con una mayor ionización del material vaporizado y del gas reactivo.
 2. La mayor densidad de electrones también contribuye a una descarga más rápida de la superficie del sustrato en la obtención de capas aislantes, es decir, que tiempos de cambio de carga pequeños en el sustrato (o también sólo pausas de los impulsos de la tensión de polarización) son suficientes para descargar la capa aislante en formación.
 3. El funcionamiento bipolar entre las dos fuentes catódicas de vaporización con arco permite una relación casi del 100 % impulso/pausa (duty cycle), mientras que el pulsado de una sola fuente requiere siempre necesariamente una pausa, por lo que la eficiencia no es muy grande.
- 50

4. El funcionamiento con pulsado dual de dos fuentes catódicas de descarga mutuamente enfrentadas sumerge la zona del sustrato en un plasma denso e incrementa la reactividad en esta zona, también del gas reactivo. Esto se manifiesta también por el aumento de la intensidad del sustrato.
5. En los procesos reactivos en atmósfera de oxígeno se pueden alcanzar en el funcionamiento pulsado valores todavía más altos de la emisión de electrones y parece, que se puede evitar ampliamente la fusión de la zona de la descarga, como sucede en la vaporización clásica de targets metálicos.

Otra variante preferida del presente invento es que como segundo electrodo se utiliza junto al primer electrodo de la fuente 5 de vaporización con arco el soporte 3 de la pieza con la pieza colocada en él, como se representa en la figura 4. En este caso se conecta la fuente 16 de alimentación con corriente pulsada única entre el primer electrodo 5' de la fuente 5 de vaporización con arco y el segundo electrodo configurado como soporte 3 de la pieza. Para obtener condiciones de descarga más estables también se puede conectar al mismo tiempo la fuente 13 de alimentación con corriente continua de la fuente 5 de vaporización con arco con el segundo electrodo, es decir el soporte de la pieza. Con este funcionamiento de polarización también se puede influir de manera definida en las condiciones de ionización, en especial en la zona de la superficie de la pieza. Las impedancias son esencialmente distintas entre sí en esta variante. También aquí puede tener lugar una igualación de la intensidad por medio del ancho de los impulsos de tensión. Dado que la emisión de electrones del soporte del sustrato y de los sustratos se diferencia mucho de la emisión de electrones del vaporizador catódico con arco, la tensión pulsada resultante no posee un paso por cero (el sustrato es siempre anódico). En esta variante es nuevamente importante la aplicación para la obtención de capas aislantes y, además, tiene importancia la posibilidad de atacar el sustrato con chorros de electrones intensos. Este funcionamiento es especialmente interesante, cuando se trata de la disociación de gases reactivos en la proximidad de la superficie del sustrato y de obtener al mismo tiempo temperaturas altas del sustrato.

Resumiendo, las ventajas son:

1. Elevada reactividad en la proximidad del sustrato.
2. Descomposición eficaz del gas reactivo
3. Descarga de los sustratos en el depósito de capas aislantes.
4. Posibilidad de obtener temperaturas elevadas del sustrato.

En la figura 5 se representa otra variante del invento en la que el segundo electrodo se configura como target de pulverización (target de pulverización catódica) en una fuente 18 de pulverización. De manera preferida se configura esta fuente 18 de pulverización como fuente de pulverización con magnetrón y se alimenta de manera usual con una fuente 17 de alimentación con corriente continua. Con esta disposición se pueden combinar las ventajas de la técnica de pulverización con las ventajas de la técnica de vaporización con arco y ello también en los procesos reactivos y en especial en el depósito de capas dieléctricas o de capas de gradiente y de aleación.

Las impedancias también son muy distintas en este caso. Se hallan entre las de las fuentes de vaporización con arco mencionadas más arriba y las de la pulverización catódica con una fuente con magnetrón (10 Ω a 100 Ω). En el caso de que deba tener lugar una igualación para intensidades iguales es preciso adaptar nuevamente de manera correspondiente las longitudes de los impulsos. Sobre todo en esta forma de funcionamiento es importante, que las fuentes de alimentación con corriente continua sean desacopladas de la alimentación pulsada por medio de un filtro, que contenga por ejemplo diodos. Se comprobó, que este modo es, sobre todo, ventajoso para los procesos de depósito de capas aislantes, ya que se pueden obtener ventanas de proceso muy anchas no sólo para la fuente de vaporización con arco, sino, sobre todo, también para la fuente de pulverización catódica. Por ejemplo, se puede trabajar con un flujo constante de gas reactivo y se evitan las dificultades de una regulación. Si las dos fuentes se dispone una frente a la otra, el plasma del proceso se extiende a través del sustrato hasta la otra fuente y evita la contaminación del target de pulverización catódica en márgenes amplios.

Las ventajas adicionales son:

1. Ventana de proceso muy ampliada para el funcionamiento con pulverización catódica sin contaminación del target.
2. Mayor reactividad, sobre todo, del proceso de la pulverización catódica debido a las mayores densidades de electrones.

En otra configuración del invento se construye el segundo electrodo como crisol 22 de vaporización y forma parte del dispositivo de vaporización de bajo voltaje, como se representa en la figura 6. Como ya se expuso, la descarga de arco de bajo voltaje funciona con una fuente 21 de alimentación con corriente continua conectada con el polo positivo al crisol 22 de vaporización, que sirve en este caso de ánodo y con el polo negativo conectado con el filamento de una fuente 9

de plasma situada enfrente, que sirve en este caso de cátodo. La descarga de arco de bajo voltaje se puede concentrar de manera en sí conocida con las bobinas 10, 10' en el crisol 22 donde se funde y vaporiza un material de vaporización. La fuente 16 de alimentación con corriente pulsada está conectada nuevamente entre el electrodo 5' de la fuente 5 de vaporización con arco y el segundo electrodo, es decir el crisol 22 de vaporización, para obtener el grado de ionización alto deseado. Este proceder también ayuda a reducir las salpicaduras, incluso con materiales con una vaporización difícil.

Como es obvio, también se puede utilizar como segundo electrodo para la alimentación con plasma el crisol de una instalación de vaporización con chorro de electrones normal.

Las ventajas son:

1. El funcionamiento dual incrementa la ionización en los vaporizadores térmicos.
2. Facilidad para combinar la vaporización térmica y la vaporización catódica con chispas.
3. Descomposición y excitación más eficaces del gas reactivo en la descarga de arco de bajo voltaje.
4. Aprovechamiento de las grandes corrientes de electrones de la vaporización con chispas para otra vaporización térmica.
5. Elevada flexibilidad de la conducción del proceso.

Para poder obtener las propiedades ventajosas del proceso mencionadas más arriba es preciso, que en las diferentes formas de ejecución posibles del invento expuestas más arriba la alimentación, 16 con corriente pulsada cumpla diferentes condiciones. En la representación bipolar de los impulsos debe ser posible, que el proceso funcione con una frecuencia, que se halle en el margen de 10 Hz a 500 kHz. En este caso es importante, que, debido a las condiciones de ionización, el mantenimiento de la pendiente de los flancos de los impulsos. Tanto los valores de los flancos $U_2/(t_2 - t_1)$, $U_1/(t_6 - t_5)$ ascendentes, como también los de los flancos $U_2/(t_4 - t_3)$ y $U_1/(t_8 - t_7)$ descendentes deberían poseer al menos pendientes superiores a 2,0 V/ns, medidas en la parte esencial de la extensión del flanco. Sin embargo, se debería hallar el menos en el margen de 0,02 V/ns a 2,0 V/ns, con preferencia al menos en el margen de 0,1 V/ns a 1,0 V/ns, y ello al menos en el funcionamiento en vacío, es decir sin carga, pero con preferencia también con carga. Como es obvio, la pendiente de los flancos se manifiesta durante el funcionamiento según la magnitud correspondiente de la carga, respectivamente de la impedancia aplicada o de los correspondientes ajustes, como se representa en el diagrama de la figura 7. Los anchos de los impulsos son en la representación bipolar ventajosamente, como se representa en la figura 7, $\geq 1 \mu s$ para t_4 a t_1 y para t_8 a t_5 , siendo ventajoso, que las pausas t_5 a t_4 y t_9 a t_8 puedan ser 0, pero también en determinadas condiciones $\geq 0 \mu s$. Cuando las pausas de los impulsos son > 0 , se dice, que este funcionamiento es intermitente y por medio de, por ejemplo, un desplazamiento variable en el tiempo de los anchos de los intersticios entre los impulsos se pueden ajustar de manera definida la inyección de energía en un plasma y su estabilización. En el funcionamiento de la fuente de alimentación con corriente de plasma entre dos electrodos con distintas impedancias, como se describió más arriba, puede ser eventualmente ventajoso, que la duración de los impulsos se mantenga pequeña para limitar el aumento de la intensidad y haciendo funcionar la fuente de alimentación con corriente pulsada en el modo intermitente.

Es especialmente ventajoso, que la alimentación con corriente pulsada se diseñe de tal modo, que sea posible un funcionamiento con impulsos hasta 500 A con una tensión de 1000 V, siendo preciso, que en este caso se tenga correspondientemente en cuenta, respectivamente se adapte la relación impulso/pausa (duty cycle) para la posible potencia para la que se diseñó la fuente de alimentación. Además de la pendiente de los flancos de la tensión pulsada se debe cuidar con preferencia, que la fuente 16 de alimentación con corriente pulsada sea capaz de superar un aumento de la intensidad hasta 500 A en al menos 1 μs .

En los ejemplos siguientes se describirá ahora la primera aplicación preferida del invento, como la que se representa esquemáticamente en la figura 2. En este caso se conecta la fuente 16 de alimentación con alta intensidad entre las fuentes 5, 20 catódicas de vaporización con arco. Con esta forma de funcionamiento se obtienen tanto la estabilidad del proceso para capas aislantes, como también la reducción de las salpicaduras y un a mayor reactividad del plasma.

Ejemplo 1

Descripción del desarrollo típico del proceso para la obtención de una capa de Al-Cr-O.

En lo que sigue se describirá el desarrollo típico de un tratamiento de un sustrato en un proceso reactivo de recubrimiento con chispas recurriendo al presente invento. Además del proceso de recubrimiento propiamente dicho en el que se realiza el invento, también se comentarán otros pasos del procedimiento, que atañen a los tratamientos previo y posterior del sustrato. Todos estos pasos admiten amplias variaciones y algunos pueden ser suprimidos, acortados o alargados o ser combinados de otra manera en determinadas condiciones.

En el primer paso se someten usualmente los sustratos a una limpieza química húmeda, que se realiza de distintas maneras según el material y sus antecedentes.

1. Tratamiento previo (limpieza, etc.) de los sustratos (procedimientos familiares para el técnico).

2. Colocación del sustrato en los soportes previstos para él e introducción en el sistema de recubrimiento.

5 3. Evacuación de la cámara de recubrimiento hasta una presión de aproximadamente 10 a 4 mbar por medio de un sistema de bombeo como es familiar para el técnico (bombeo previo/bomba de difusión, bombeo previo/bomba turbomolecular, presión final alcanzable aproximadamente 10 a 7 mbar).

10 4. Iniciación del tratamiento previo del sustrato en vacío con un paso de calentamiento en un plasma de argón-hidrógeno u otro tratamiento conocido con plasma. Este tratamiento previo puede ser realizado sin limitaciones con los siguientes parámetros.

Plasma de una descarga de arco de bajo voltaje con una intensidad de descarga de aproximadamente 100 A, hasta 200 A, hasta 400 A; los sustratos se conectan con preferencia como ánodo de esta descarga con arco de bajo voltaje.

Flujo de argón: 50 sccm

Flujo de hidrógeno: 300 sccm

15 Temperatura del sustrato: 500 °C (en parte debida al calentamiento con plasma, en parte debida a un calentamiento por radiación)

Duración del proceso: 45 min

20 Con preferencia se aplica durante este paso una alimentación entre los sustratos y masa u otro potencial de referencia con el que los sustratos pueden ser sometidos tanto a una corriente continua (con preferencia positiva) corriente continua pulsada (unipolar, bipolar) o como MF o RF.

25 5. Como paso siguiente del proceso se inicia el ataque químico. Para ello se hace funcionar el arco de bajo voltaje entre el filamento y el ánodo auxiliar. Una fuente de alimentación con corriente continua, con corriente continua pulsada, de MF o de RF se conecta entre los sustratos y masa y los sustratos se conectan con preferencia a una tensión negativa. En las fuentes de alimentación pulsadas y las fuentes de alimentación con MF o RF se aplica también a los sustratos una tensión positiva. Las fuentes de alimentación pueden funcionar de manera unipolar o bipolar. Los parámetros típicos, pero no exclusivos del proceso son:

Flujo de argón: 60 sccm

Intensidad de descarga del arco de bajo voltaje: 150 A

30 Temperatura del sustrato: 500 °C (en parte debida a la calefacción con plasma, en parte debido a calefacción por radiación)

Duración del proceso: 30 min

Para garantizar la estabilidad de la descarga de arco de bajo voltaje durante la obtención de capas aislantes se trabaja con un cátodo caliente conductor o se conecta una fuente de alimentación de alta intensidad pulsada entre el ánodo auxiliar y masa.

35 6. Comienzo del recubrimiento con la capa intermedia (aproximadamente 15 min)

Capa intermedia de CrN de 300 nm por medio de una vaporización con chispas (intensidad de la fuente: 140 A, N₂: 1200 sccm, con tensión de polarización bipolar de -180 V (36 μs negativo, 4 μs positivo).

El recubrimiento puede tener lugar con o sin arco de bajo voltaje.

Hasta este punto sigue el procedimiento el estado de la técnica, como se representa a título de ejemplo en la figura 1.

40 7. Transición a la capa funcional (aproximadamente 5 min)

45 En la transición a la capa funcional propiamente dicha se reduce el nitrógeno de 1200 sccm hasta aproximadamente 400 sccm y a continuación se conecta un flujo de oxígeno de 300 sccm. Al mismo tiempo se incrementa la intensidad de alimentación para el cátodo de descarga de Cr hasta 200 A. Después se conecta el cátodo de chispas de Al y se hace funcionar igualmente con una intensidad de 200 A. El flujo de nitrógeno es desconectado ahora y a continuación se eleva el flujo de oxígeno hasta 400 sccm.

8. Recubrimiento con la capa funcional

Ahora se activa la alimentación 16 con alta intensidad pulsada y bipolar entre los dos cátodos de chispas, como se representa en la figura 2. En el proceso descrito se trabajó con un valor medio positivo, respectivamente negativo en función del tiempo de la intensidad de aproximadamente 50 A. La duración de los impulsos es de 20 μ s tanto para el margen de tensión positivo, como para el negativo. El valor de cresta de la intensidad debido a la fuente de alimentación bipolar pulsada depende de la forma del impulso en cada caso. La diferencia entre la intensidad de corriente continua a través del cátodo de chispas correspondiente y el valor de cresta de la corriente bipolar pulsada no puede ser inferior a la intensidad de mantenimiento del cátodo de chispas, ya que entonces se extingue el arco.

Durante los primeros 10 minutos del recubrimiento se reduce la tensión de polarización de -180 V a -60 V. Las tasas de recubrimiento típicas para sustratos con rotación doble se hallan entre 3 μ m/h y 6 μ m/h.

El recubrimiento de los sustratos con la capa funcional propiamente dicha tiene lugar, por lo tanto, en el gas reactivo puro (en este caso oxígeno). Nuevamente se resumen los parámetros más importantes del proceso:

Flujo de oxígeno: 300 sccm

Temperatura del sustrato: 500 °C

Intensidad fuente de corriente continua: 200 A, tanto para la fuente de Al, como también para la fuente de Cr.

La intensidad de corriente bipolar continua pulsada entre los dos cátodos tiene una frecuencia de 25 kHz.

Presión del proceso: aproximadamente 3×10^{-3} mbar.

Como ya se mencionó, el recubrimiento también puede tener lugar al mismo tiempo con el funcionamiento del arco de bajo voltaje. En este caso se obtiene un aumento adicional de la reactividad, sobre todo en la proximidad del sustrato. Además, la utilización simultánea del arco de bajo voltaje durante el recubrimiento aporta también la ventaja de que se puede reducir la parte de corriente continua en las fuentes. Con una intensidad mayor del arco se puede reducir esta adicionalmente.

El proceso de recubrimiento así conducido es estable durante varias horas. El target de la chispa se recubre con una capa de óxido delgada y lisa. Esto es deseable y también la premisa para un proceso ampliamente libre de salpicaduras y estable. El recubrimiento se manifiesta en un aumento de la tensión en el target de la chispa, como también se describió ya en la solicitud de patente CH 00518/05 precedente.

En lo que sigue se exponen otros tres ejemplos de ejecución en los que únicamente se tratará el sedimento de interfaces y de la capa funcional.

Ejemplo 2

Mientras que en el ejemplo anterior se describió la obtención de una capa de Al-Cr-O en la que se utilizaron únicamente dos targets de chispas, se describirá en lo que sigue el proceso de una capa de óxido de aluminio pura utilizando cuatro targets de chispas:

Para los recubrimientos se utilizaron como sustratos placas oxicerámicas de varios de cortes (carburo de wolframio), que ya se habían recubierto en un procedimiento anterior con una capa de TiN con un espesor de 1,5 μ m. Los sustratos se sometieron a un tratamiento previo esencialmente idéntico con los pasos 1 a 5 descritos más arriba. Sin embargo, antes del recubrimiento con la capa funcional no se depositó una capa intermedia especial, es decir, que se comenzó inmediatamente con la capa funcional sobre el soporte de TiN y se suprimieron los pasos 6 y 7. Para el depósito de la capa 8 funcional se trabajó con cuatro targets de chispas y se utilizaron los siguientes parámetros de proceso:

- Cuatro targets de Al activadas cada uno con 170 A de corriente continua.

- Impulsos bipolares de intensidad, de acuerdo con la figura 2, de cada dos targets de Al con una tensión de salida de 100 V en la fuente de alimentación y anchos positivos y negativos de 20 μ s de los impulsos

- Flujo de argón: 50 sccm

- Flujo de oxígeno: 700 sccm

Temperatura del sustrato: 695 °C.

La capa obtenida de esta manera se caracterizó con las siguientes medidas:

- Grueso de la capa con rotación doble de los substratos: 4 μm
- La adherencia de la capa se determinó con la prueba de huella Rockwell entre HF1 y HF2.
- La microdureza se determinó con el Fischerscope (microindentación con $F = 50 \text{ mN}/20 \text{ s}$ y dio un valor $\text{HV} = 1965 (+/- 200)$, $Y = 319 \text{ GPa} (+/- 12 \text{ GPa})$.

5 Se obtuvieron espectros XRD de la capa tanto para el margen angular de $2\theta/\theta$, como para una incidencia plana (3°). Estas mediciones con rayos X ponen de manifiesto una capa cristalina con partes, posiblemente pequeñas, de óxido de aluminio amorfo. El óxido de aluminio se puede identificar claramente como fase $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Ejemplo 3

10 El ejemplo siguiente se refiere a la obtención de una capa de óxido de circonio. Los substratos se recubrieron antes del recubrimiento propiamente dicho con la capa funcional con una capa intermedia de ZrN. Para este recubrimiento se trabajó con cuatro targets con una presión parcial del nitrógeno de 2 Pa con 170 A cada uno. La temperatura del substrato fue de 500 $^\circ\text{C}$ y se utilizó una tensión de polarización del substrato de -150 V. El tiempo de recubrimiento para esta capa intermedia fue de 6 min.

15 Para el depósito de la capa 8 funcional también se trabajó, de acuerdo con la figura 2, con cuatro targets de chispas y se utilizaron los siguientes parámetros de proceso:

- 4 targets de Zr activado cada uno con 170 A de corriente continua
- Impulsos bipolares de corriente de cada 2 targets de Zr con una tensión de salida de 100 V en la fuente de alimentación con anchos positivos y negativos de los impulsos de 20 μs cada uno.

- Flujo de argón: 50 sccm

20 - Flujo de oxígeno: 700 sccm

- Tensión de polarización del substrato: corriente continua pulsada bipolarmente, +/- 40 V, 38 μs negativa, 4 μs positiva

- Temperatura del substrato: 500 $^\circ\text{C}$.

La capa así obtenida se caracterizó con los siguientes valores medidos:

- Grueso de la capa con rotación doble de los substratos: 6,5 μm

25 - La adherencia de la capa fue determinada con el test de huella Rockwell en HF1

- La microdureza se determinó con el Fischerscope (microindentación con $F = 50 \text{ mN}/20 \text{ s}$) y dio el valor de $\text{HV} = 2450$

- Los valores de la rugosidad de la capa fueron: $R_a = 0,41 \mu\text{m}$, $R_z = 3,22 \mu\text{m}$, $R_{\text{max}} = 4,11 \mu\text{m}$

- El valor del coeficiente de fricción fue de 0,58.

Con la medición de los espectros XRD de la capa se puede comprobar de manera unívoca una estructura Baddeleyite.

30 Ejemplo 4

En el último ejemplo se describirán la obtención y el análisis de una capa de SiAlN.

35 Los substratos se recubrieron antes del recubrimiento funcional propiamente dicho con una capa intermedia de TiN. Para este recubrimiento se trabajó, de acuerdo con la figura 2, con dos targets, que trabajaron cada una con 180 A y una presión parcial del nitrógeno de 0,8 Pa. La temperatura del substrato fue de 500 $^\circ\text{C}$ y se utilizó una tensión de polarización del substrato de -150 V. El tiempo de recubrimiento para esta capa intermedia fue 5 min.

- 2 targets de SiAl con una relación Si-Al de 70/30 trabajando cada uno con 170 A en corriente continua

- Impulsos bipolares de los dos targets de SiAl con una tensión de salida de 100 V en la fuente de alimentación y con anchos negativos y positivos de los impulsos de 20 μs cada uno

- Flujo de argón: 50 sccm

40 - Flujo de oxígeno: 800 sccm

- Tensión de polarización del substrato: corriente continua pulsada bipolarmente, +/- 40 V, 38 μs negativo, 4 μs positivo

ES 2 388 175 T3

- Temperatura del sustrato: 410 °C

La capa así obtenida se caracterizó con los siguientes valores medidos:

- Grosor de capa con rotación doble de los sustratos: 6,5 µm

- La adherencia de la capa se midió con el test de huella Rockwell con el valor HF2

5 - La microdureza se midió con el Fischerscope (microindentación con $F = 50 \text{ mN}/20, \text{ms}$) y dio el valor $HV = 1700$

- Los valores de la rugosidad de la capa fueron $R_a = 0,48 \text{ µm}$, $R_z = 4,08 \text{ µm}$ $R_{\text{max}} = 5,21 \text{ µm}$

- El valor del coeficiente de fricción fue 0,82.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Instalación de procesamiento en vacío con una cámara (1) de vacío para el tratamiento de la superficie de piezas (3) con una fuente (5) de vaporización con arco, que comprende un ánodo (6) y un primer electrodo (5') configurado como electrodo de target, estando conectados este ánodo (6) y este electrodo (5') con una fuente (13) de alimentación con corriente continua y con un segundo electrodo (3, 18, 20, 22) dispuesto separado de la fuente (5) de vaporización con arco y de la cámara (1) de vacío, caracterizada porque los dos electrodos (5', 3, 18, 20, 22) están conectados con una fuente (16) bipolar de corriente pulsada para la formación de una vía de descarga adicional.
- 10 2. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada porque el segundo electrodo (20') es el cátodo de otra fuente (20) de vaporización con arco, estando conectada esta igualmente con una fuente (13') de alimentación con corriente continua.
3. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada porque el segundo electrodo (18) es el cátodo de una fuente (18) de pulverización catódica, en especial una fuente (18) con magnetrón y porque esta está conectada igualmente con una fuente (17) de alimentación, en especial una fuente de alimentación con corriente continua.
- 15 4. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada porque el segundo electrodo (3) se configura como soporte de la pieza y forma junto con las piezas (3) un electrodo de polarización.
5. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada porque el segundo electrodo es un crisol (22) de vaporización, que forma el ánodo de un vaporizador (9, 22) con arco de bajo voltaje.
6. Instalación según la reivindicación 1, caracterizada porque el segundo electrodo es un electrodo (22) auxiliar, con preferencia un ánodo (15) auxiliar para la formación de una descarga de arco de bajo voltaje.
- 20 7. Instalación según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada porque entre la fuente (13) de alimentación con corriente continua y la fuente (16) de alimentación con plasma se dispone un filtro eléctrico de desacoplamiento, conteniendo este con preferencia al menos un diodo de bloqueo.
- 25 8. Instalación según la reivindicación 2 ó 3, caracterizada porque la fuente (13) de alimentación con corriente continua genera una corriente de base para el mantenimiento esencialmente sin interrupciones de una descarga de plasma en los electrodos (5, 18, 20), en especial en las fuentes (5, 20) del vaporizador con arco.
9. Instalación según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada porque la instalación posee una entrada de gas reactivo.
10. Instalación según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada porque la frecuencia de la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada se halla en el margen de 1 kHz a 200 kHz,
- 30 11. Instalación según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada porque la relación de los anchos de los impulsos de la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada es ajustada distintamente.
12. Instalación según una de las reivindicaciones 1 a 11 caracterizada porque los impulsos de la fuente (16) de corriente pulsada están ajustados con intervalos.
- 35 13. Instalación según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizada porque los flancos de los impulsos de la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada poseen pendientes que se hallan al menos en el margen de 0,02 V/ns a 2,0 V/ns, con preferencia al menos en el margen de 0,1 V/ns a 1,0 V/ns, con preferencia mayor que 2,0 V/ns.
- 40 14. Procedimiento para el tratamiento de la superficie de piezas (3) en una instalación (1) de procesamiento con una cámara (1) de vacío en el que con un primer electrodo (5') configurado como electrodo de target de una fuente (5) de vaporizador con arco, que comprende un ánodo (6) y con un segundo electrodo (3, 18, 20, 22) dispuesto separado de la cámara (1) de vacío y de la fuente (5) del vaporizador con arco se deposita una capa sobre la pieza (3), siendo alimentados el primer electrodo (5') de la fuente (5) del vaporizador con arco y el ánodo (6) con una fuente de alimentación con corriente continua, caracterizado porque los dos electrodos (5', 3, 18, 20, 22) funcionan conectados con una sola fuente (16) de alimentación con corriente bipolar pulsada con lo que entre los electrodos actúa una vía de descarga adicional.
- 45 15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque el segundo electrodo (20') funciona como cátodo de otra fuente (20) de vaporizador con arco y porque está trabaja igualmente conectada con una fuente (13') de alimentación con corriente continua.
16. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque el segundo electrodo (18) funciona como cátodo de una fuente (18) de pulverización catódica, en especial una fuente (18) con magnetrón y porque esta funciona igualmente

conectada con una fuente (17) de alimentación con corriente, en especial una fuente de alimentación con corriente continua.

17. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque el segundo electrodo (3) se configura como soporte (3) de la pieza y forma junto con las piezas (3) un electrodo de polarización.
- 5 18. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque el segundo electrodo se configura como crisol (22) de vaporización y funciona como ánodo de un evaporador (9, 22) con arco de bajo voltaje.
19. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado porque el segundo electrodo funciona como electrodo (22) auxiliar, con preferencia como ánodo (15) auxiliar para la formación de una descarga de arco de bajo voltaje.
- 10 20. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 19, caracterizado porque la fuente (13) de alimentación con corriente continua y la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada se desacoplan con un filtro eléctrico de desacoplamiento, conteniendo este con preferencia al menos un diodo de bloqueo.
21. Procedimiento según la reivindicación 15 ó 16, caracterizado porque la fuente (13) de alimentación con corriente continua funciona con una corriente de base de tal modo, que la descarga de plasma en los electrodos (5, 18, 20) es mantenida esencialmente sin interrupciones, en especial en las fuentes (5, 20) de evaporador con arco.
- 15 22. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 21, caracterizado porque la instalación de procesamiento en vacío trabaja con un gas de proceso, que contiene un gas reactivo.
23. Procedimiento según la reivindicación 22, caracterizado porque la instalación de procesamiento en vacío trabaja con un gas de proceso, que es exclusivamente un gas reactivo.
- 20 24. Procedimiento según una de las reivindicaciones 22 ó 23, caracterizado porque la instalación de procesamiento en vacío trabaja con un gas de proceso en el que el gas reactivo contiene oxígeno y con preferencia es esencialmente oxígeno.
25. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 24, caracterizado porque la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada trabaja con una frecuencia en el margen a 1 kHz a 200 kHz.
- 25 26. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 25, caracterizado porque la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada trabaja con una relación de anchos de impulso ajustada distintamente.
27. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 26, caracterizado porque la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada trabaja con impulsos intermitentes.
28. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 27, caracterizado porque la fuente (16) de alimentación con corriente pulsada trabaja con flancos de los impulsos, que poseen pendientes, que se hallan al menos en el margen de 0,02 V/ns a 2,0 V/ns, con preferencia al menos en el margen de 0,1 V/ns a 1,0 V/ns, con preferencia mayor que 2,0 V/ns.
- 30 29. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 28, caracterizado porque en la instalación (19) de procesamiento en vacío, que contiene gas reactivo, con preferencia exclusivamente gas reactivo, trabajan más de dos electrodos (5, 5', 3, 18, 20), trabajando exclusivamente dos electrodos con una fuente (16) de alimentación con corriente pulsada individual y porque uno de los dos electrodos trabaja como primer electrodo (5') de una fuente (5) de vaporizador con arco.
- 35 30. Procedimiento según la reivindicación 29, caracterizado porque los dos electrodos (5, 5') pulsados trabajan como fuentes de vaporizador con arco y porque al menos un electrodo adicional trabaja como fuente (18) de pulverización catódica.

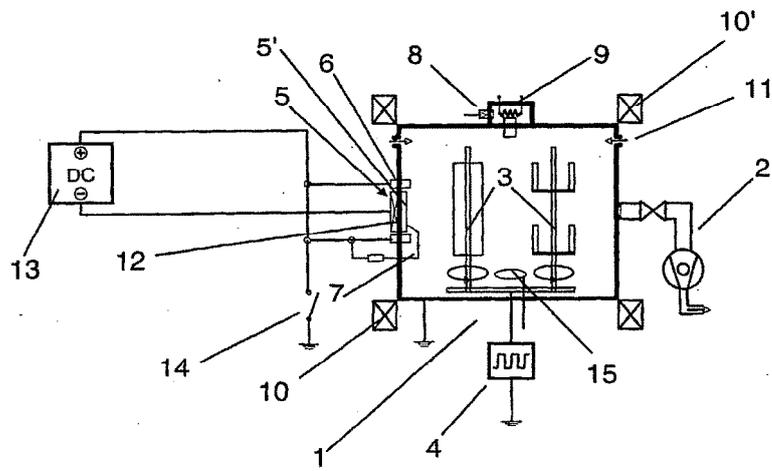


Fig.1

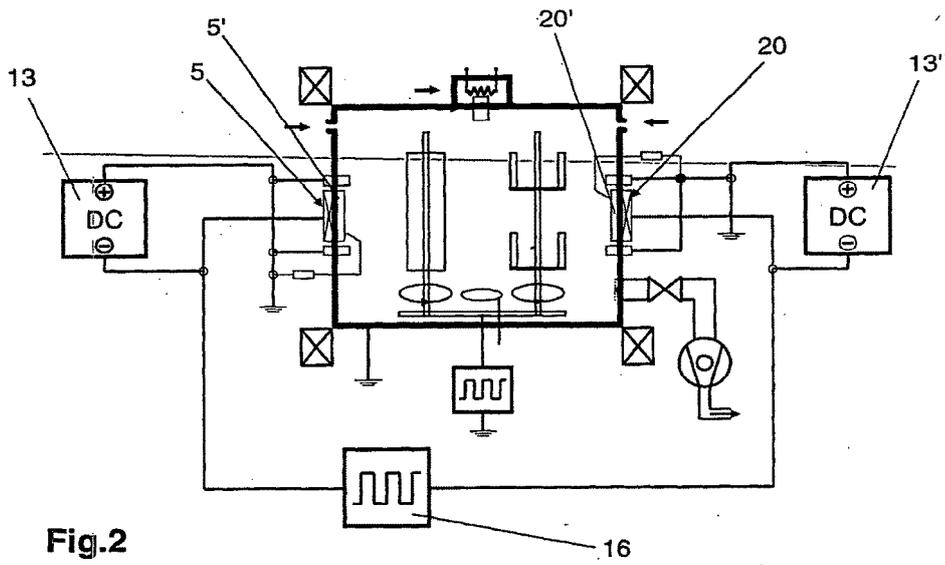


Fig.2

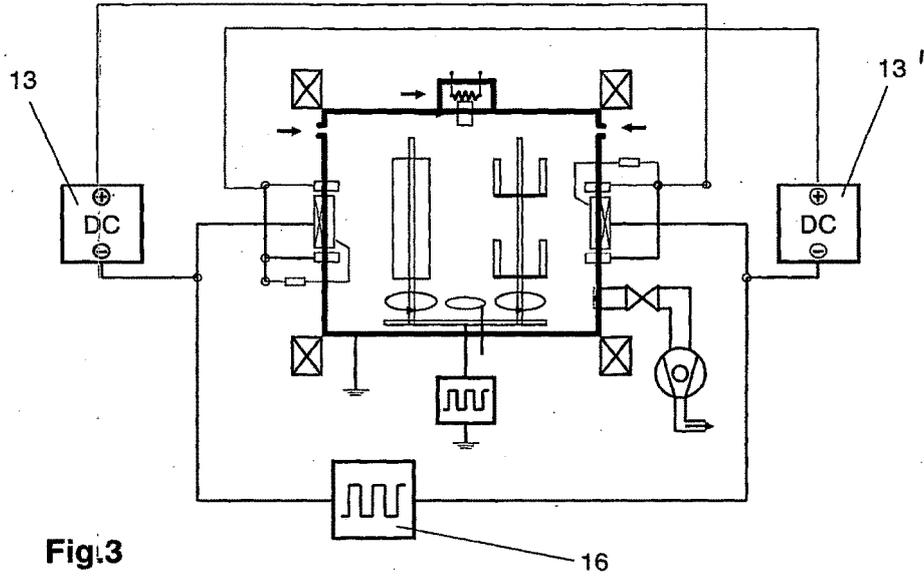


Fig.3

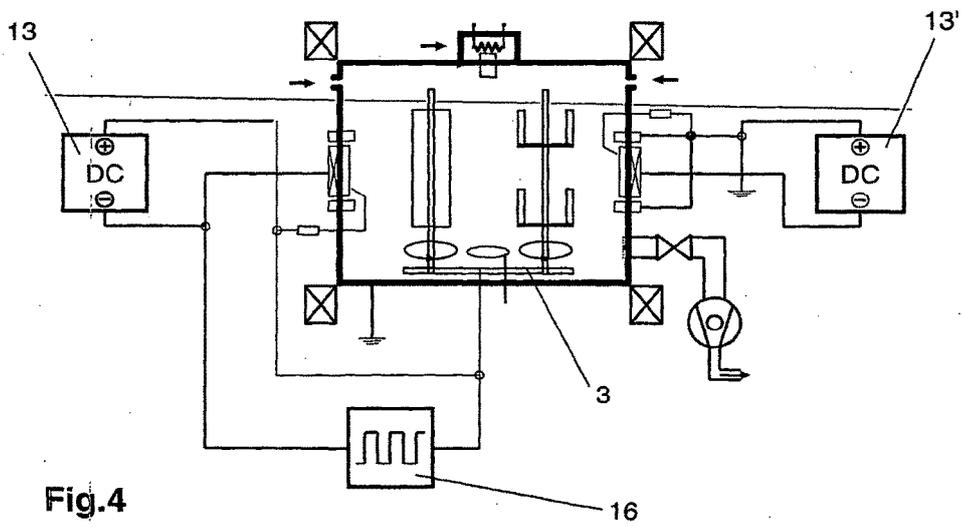
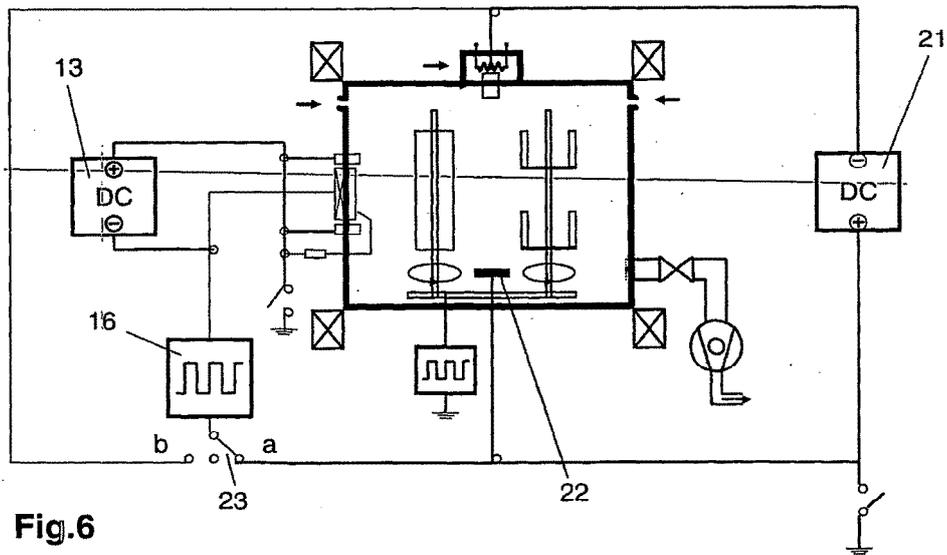
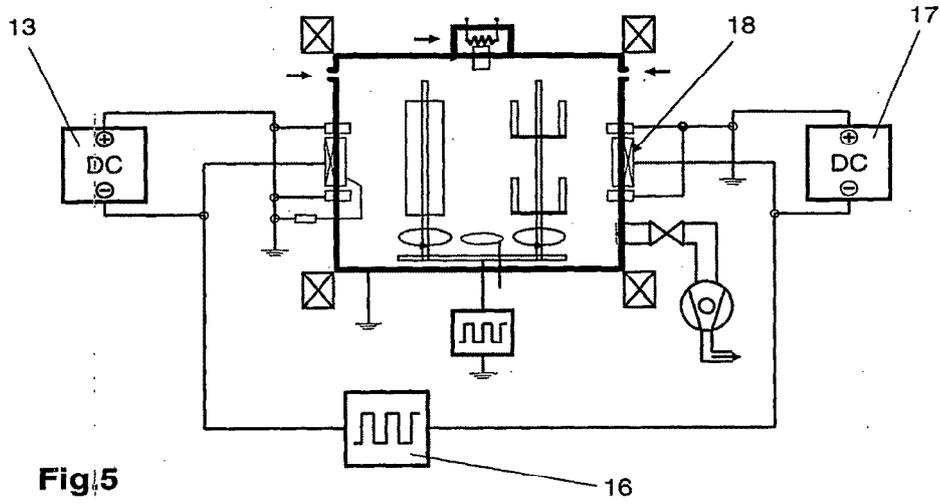


Fig.4



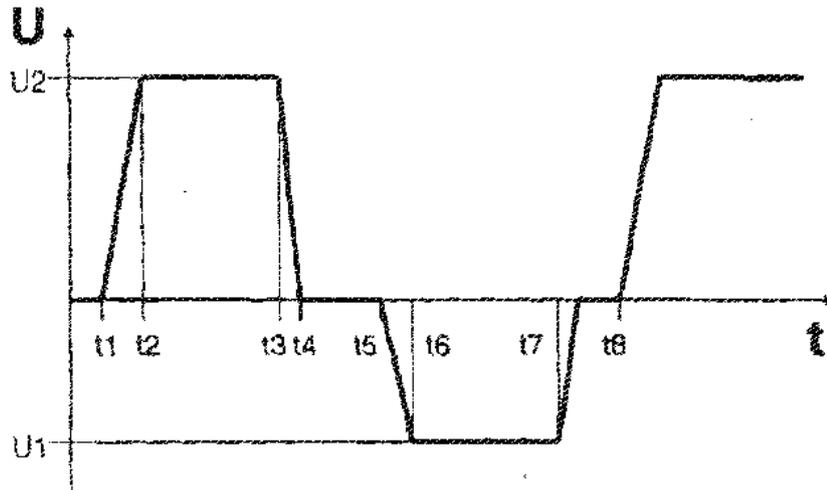


Fig.7