

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 934**

51 Int. Cl.:

**C23C 14/32** (2006.01)

**C23C 14/54** (2006.01)

**H01J 37/32** (2006.01)

**H01J 37/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2014 PCT/IB2014/061393**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2015 WO15173607**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2014 E 14732390 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 3143177**

54 Título: **Método para filtrar macropartículas en una deposición física de vapor por arco catódico (PVD), en vacío**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.06.2019**

73 Titular/es:  
**ARGOR ALJBA SA (100.0%)  
Via Moree 14  
6850 Mendrisio, CH**

72 Inventor/es:  
**UKHANOV, SERGEY**

74 Agente/Representante:  
**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 717 934 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 para filtrar macropartículas en una deposición física de vapor por arco catódico (PVD), en vacío

**5 Campo de aplicación**

La presente invención se refiere a un método para filtrar macropartículas en una deposición física de vapor por arco catódico (PVD), en vacío.

10 En particular, la invención se refiere a un método del tipo mencionado anteriormente, que comprende la etapa de evaporar un material de una fuente sólida ("cátodo") por medio de aplicación del arco en la fuente, formar un plasma que comprende electrones, micropartículas neutras (vapor) e iones de material evaporado, junto con macropartículas de mayor tamaño que las micropartículas y los iones, y en el que se limpia el plasma de las macropartículas a fin de evitar la deposición de las macropartículas sobre un sustrato a revestir.

15 La invención se refiere también a un sistema para implementar el método antes mencionado.

**Técnica anterior**

20 Los métodos y sistemas para filtrar macropartículas durante una deposición física de vapor por arco catódico (PVD), en vacío, son conocidos.

25 En una deposición del tipo mencionado anteriormente, el material de una fuente sólida ("cátodo") se evapora en el interior de una cámara de vacío por medio de la aplicación del arco sobre la fuente, formando un plasma que comprende electrones, micropartículas neutras (vapor) e iones de material evaporado, junto con macropartículas de dicho material. La aplicación del arco consiste en la descarga de una corriente en la fuente y en el movimiento del arco sobre la misma, a fin de evaporar diferentes porciones superficiales de la misma.

30 El tamaño de las macropartículas que se generan es mayor que el de las micropartículas neutras e iones y, si las macropartículas alcanzan el sustrato, que se condensa con el resto del plasma sobre las mismas, producen defectos en el revestimiento.

35 En particular, las macropartículas en el flujo de plasma son tanto más indeseable, cuando se requiere un revestimiento más fino. En algunos casos, el espesor del revestimiento a formar es comparable con el tamaño de las macropartículas y la presencia de unas pocas macropartículas en el flujo de plasma es suficiente para afectar negativamente a la calidad del revestimiento.

40 Con el fin de comprender mejor las dificultades de la formación de un revestimiento libre de defectos, es suficiente considerar que los principales productos de la erosión de la fuente son los iones y las macropartículas; las micropartículas neutras (vapor) forman solo el 1% del plasma. El porcentaje de macropartículas es particularmente elevado cuando la fuente es un metal de bajo punto de fusión, con un bajo coeficiente de conductividad térmica y baja conductividad eléctrica (Zn, Cd, Sn, Pb, Bi) y en el caso del grafito; en este caso la masa evaporada por la fuente se forma hasta un 90 % por las macropartículas, que tienen un tamaño variable, por ejemplo, entre 0,1 y 100 micrómetros.

45 La velocidad de movimiento de las macropartículas que deben filtrarse es de aproximadamente  $10^2 - 2 \cdot 10^4$  centímetros por segundo (cm/s); las macropartículas que se mueven con una velocidad inferior no logran alcanzar el sustrato situado enfrente de la fuente. Por otra parte, el número de macropartículas que se originan desde el cátodo depende de diferentes factores, incluyendo el material de cátodo, la corriente de arco y las condiciones térmicas.

50 Con el fin de reducir o evitarla deposición de la macropartícula sobre el sustrato es, por tanto, necesario limpiar el plasma de las macropartículas, tomando en consideración los factores antes mencionados, en concreto, la velocidad de las macropartículas, su porcentaje, el material de cátodo, la corriente del arco, las condiciones térmicas, etc.

55 Se conocen sistemas de filtrado en los que se aplica un filtro entre la fuente y el sustrato. Particularmente eficaz para la reducción de las macropartículas son los filtros magnéticos. Estos filtros comprenden un canal de plasma no lineal al que se aplica un sistema magnético provisto de una bobina. Esencialmente, la bobina está enrollada alrededor del canal de plasma no lineal y genera un campo electromagnético que guía el plasma a lo largo del eje del canal curvo; las macropartículas no siguen la trayectoria axial del canal y se recogen en una zona predeterminada del filtro. En otras palabras, las macropartículas pueden filtrarse porque se mueven en una línea recta, a diferencia del plasma.

60 Sin embargo, los filtros magnéticos tienen una serie de inconvenientes, asociados principalmente con la notable reducción en el flujo del plasma a través del filtro lo que da como resultado una reducción significativa en la velocidad de deposición del revestimiento sobre el sustrato, y por lo tanto una menor eficacia de la planta (sistema).  
65 Por ejemplo, la velocidad de deposición se reduce en más de un 75 % en comparación con un filtro toroidal y en más de un 90 % en comparación con un filtro sigmoide.

Cuando se utilizan filtros magnéticos es, por tanto, necesario compensar la pérdida de productividad (eficacia), en particular por medio de un aumento en la potencia de la planta. Por otra parte, a fin de garantizar una alta calidad del revestimiento en la planta con potencia mejorada, es necesario proporcionar un filtro más sofisticado, con un aumento de su complejidad e, inevitablemente, de su coste.

Incluso con las mejoras antes mencionadas, se producen otros inconvenientes, incluyendo la necesidad de un mantenimiento constante del filtro que consiste en la limpieza del canal de plasma no lineal de las macropartículas.

El problema técnico que forma la base de la presente invención es el de idear un método y un sistema asociado para filtrar las macropartículas durante la deposición física de vapor en vacío, que puede utilizarse por tanto con un arco pulsado, láser pulsado, HIPIMS, etc., independientemente o en combinación con otros sistemas de filtrado, y capaz de evitar la deposición de las macropartículas en el sustrato a revestir, con una reducción mínima en la velocidad de deposición de los iones y las micropartículas de material evaporado, y una reducción de la complejidad, costes y el mantenimiento requerido por los filtros ya conocidos, mientras que aumenta la eficacia del sistema, superando sustancialmente de ese modo todas las limitaciones que afectan hasta ahora a los métodos y sistemas de filtrado de la técnica anterior.

VYSKOCIL J *et al.*: "CATHODIC ARC EVAPORATION IN THIN FILM TECHNOLOGY\*", REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: PARTE A, AVS /AIP, MELVILLE, NY, EE.UU., vol.10, n°. 4 PT II, 1 de Julio de 1992 (01-07-1992), páginas 1740-1748, XP000296235, ISSN: 0734-2101, HIROFUMI TAKIKAWA *et al.*: Review of Cathodic Arc Deposition for Preparing Droplet-Free Thin Films", TRANSACCIONES IEEE EN CIENCIA DEL PLASMA, CENTRO DE SERVICIOS IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE.UU., vol. 35, n°. 4, 1 de agosto de 2007 (01-08-2007), páginas 992-999, XP01119877, ISSN: 0093-3813 y WITKE T *et al.*: "COMPARISON OF FILTERED HIGH-CURRENT PULSED ARC DEPOSITION ( $\Phi$ -HCA) WITH CONVENTIONAL VACUUM ARC METHODS", TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES Y REVESTIMIENTOS, ELSEVIER, vol. 126, n°. 1, 3 de abril de 2000 (03-04-2000), páginas 91-88, XP008070907, ISSN: 0257-8972 divulgan todos la gestión de macropartículas en procesos para la deposición por arco catódico. SIEMROTH P *et al.*: "High-current arca new source for high-rate deposition", TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES Y REVESTIMIENTOS, ELSEVIER, vol. 68-69, 1 de diciembre de 1994 (01-12-1994), páginas 314-319, XP027004367, ISSN: 0257-8972 divulga la deposición por arco catódico a partir de un cátodo de carbono.

### Sumario de la invención

La idea que forma la base de la presente invención es la de mover un arco catódico en una fuente de tal manera que el plasma generado por el arco en un punto de la fuente pueda desviarse las macropartículas presentes en el plasma generado en otro punto de la fuente, evitando que las partículas desviadas continúen hacia un sustrato a revestir, que está situado en un vacío y enfrente de la fuente hacia la que sustancialmente solo las micropartículas, los iones y los electrones proceden, para su condensación sobre el sustrato.

En particular, de acuerdo con la idea mencionada anteriormente, el arco catódico de la fuente genera un lugar, cuya velocidad de propagación en la superficie de la fuente se controla a fin de empujar las macropartículas fuera del plasma y permitir que solo el plasma limpio de macropartículas proceda en una dirección sustancialmente recta hacia el sustrato a revestir.

El método de filtrado antes mencionado es la autolimpieza, puesto que utiliza la generación del propio plasma en un punto para limpiar el plasma generado en otro punto de las macropartículas contenidas en su interior. En este método de auto-limpieza, las fuerzas de repulsión naturales de las micropartículas, iones y electrones en el plasma se utilizan para desviar las macropartículas de una dirección recta entre la fuente y el sustrato, a lo largo del que las micropartículas, los iones y los electrones pueden en cambio proceder.

De acuerdo con la idea antes mencionada, el problema técnico en la base de la presente invención se resuelve mediante un método para la filtración de micropartículas en una deposición física de vapor por arco catódico (PVD) en vacío como se propone en la reivindicación 1. Adicionalmente, un sistema de una deposición física de vapor por arco catódico (PVD) se propone en la reivindicación 13.

La acción de auto-limpieza antes mencionado es posible debido a la mayor velocidad de las micropartículas neutras, los electrones y los iones del plasma en comparación con las de las macropartículas. Por medio de una guía, la velocidad de los iones es aproximadamente 100 veces mayor que la velocidad de las macropartículas, y la velocidad de los electrones es aproximadamente 1000 veces mayor que la velocidad de las macropartículas.

En otras palabras, de acuerdo con la presente divulgación, el lugar del cátodo generada por el arco de la fuente se mueve a la velocidad  $V_{cs}$  y a dicha velocidad se impulsa, por medio de los iones, electrones y partículas neutras generadas en un punto  $P_2$ , las macropartículas generadas en un punto  $P_1$  anterior han pasado por el lugar del cátodo; de hecho, las macropartículas generadas en el punto  $P_1$  tienen una velocidad inferior a los iones, electrones y partículas neutras generadas en el siguiente punto  $P_2$  y se alcanzan rápidamente por los iones, electrones y partículas neutras generadas en  $P_2$ , y desviadas por los mismos de la trayectoria recta hacia el sustrato, de manera que no son capaces de alcanzar el sustrato.

De acuerdo con la presente divulgación, el arco termina en un punto en la superficie de la fuente que no está situado frente al sustrato y donde las macropartículas generadas se encuentran fuera de la trayectoria recta a lo largo de la que el plasma puede proceder hacia el sustrato. Preferentemente, un escudo mecánico se aplica al punto de la fuente de donde termina el arco, con el fin de bloquear las macropartículas generadas en dicho punto, evitando el paso de las mismas hacia el sustrato. De esta manera, incluso si el plasma en el punto final del arco no se puede limpiar a modo de auto-limpieza, puesto que en el punto final no es seguido por otro plasma con una acción de auto-limpieza, en este punto genera macropartículas que no pueden alcanzar el sustrato, bloqueándose dichas partículas por el escudo mecánico.

El solicitante ha encontrado que, al mover el arco de la fuente con una velocidad  $V_{cs}$  mayor que o igual a la relación de la distancia  $R_{act}$  entre un punto de inyección  $P_i$  del arco y un punto final  $P_f$  del arco sobre la fuente y la duración  $t$  del arco ( $V_{cs} \geq R_{act}/t$ ), prácticamente todas las macropartículas no alcanzan el sustrato.

De acuerdo con un aspecto de la divulgación, la velocidad  $V_{cs}$  del movimiento del arco sobre la fuente se regula por medio de una variación de una corriente (C) de un pulso (Imp) del arco.

De acuerdo con otro aspecto de la divulgación, la distancia  $R_{act}$  de movimiento del arco sobre la fuente se regula por medio de una variación de una duración de un pulso (Imp) de una corriente (C) del arco.

En una realización preferida, el arco termina en un punto  $P_f$  situado en una porción superficial de la fuente donde las macropartículas generadas por el arco son incapaces de alcanzar el sustrato. Preferentemente, el punto final  $P_f$  y/o un punto de partida  $P_i$  del arco no están enfrente del sustrato. Por ejemplo, el punto final  $P_f$  y/o dicho punto de partida  $P_i$  se sitúan en una superficie lateral de la fuente que no está alineada con ni enfrentada al sustrato.

También se prevé utilizar un electrodo de filtrado adaptado para bloquear mecánicamente las macropartículas desviadas de la trayectoria hacia el sustrato y que tienen una abertura para permitir que el plasma limpiado pase a través hacia el sustrato a revestir. Esta abertura en el electrodo de filtrado se sitúa en una línea recta entre la fuente y el sustrato.

De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, se prevé aplicar un filtro adicional de tipo electrostático. En particular, el solicitante ha ideado un filtro electrostático particularmente ventajoso que hace uso de la diferente velocidad de las macropartículas en comparación con la de los iones, electrones y micropartículas. De hecho, las macropartículas, debido a que son más grandes en tamaño que las micropartículas y los iones, tienen un movimiento retrasado en comparación con los electrones, micropartículas e iones del plasma, y adquieren una carga positiva fuera del plasma.

El solicitante, teniendo en cuenta el retraso en el movimiento de las macropartículas, ha previsto ventajosamente aplicar el arco de la fuente con impulsos de una duración predeterminada (T) y aplicar un campo electrostático (E) entre la fuente y el sustrato que mueve la macropartículas lejos del sustrato durante los intervalos (I) de aplicación de dichos impulsos (T) del arco pulsado.

Preferentemente, la duración T del arco pulsado es menor que o igual a

$$D/V_{mp} + \Delta t,$$

donde D es la distancia entre la fuente y el sustrato opuesto,  $V_{mp}$  es la velocidad de las macropartículas y  $\Delta t$  es el tiempo durante el que las macropartículas adquieren carga positiva.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el campo electrostático (E) es generado por un par de electrodos con una diferencia de potencial U mayor que o igual a

$$U > = (mV^2)/2e,$$

donde m es la masa de una macropartícula, V es su velocidad hacia el sustrato y e es su carga eléctrica.

En particular, el sustrato se asocia con un ánodo electrostático del par de electrodos y una cámara de vacío se asocia con un cátodo electrostático de este par de electrodos.

En una realización, el ánodo del par de electrodos actúa también como un electrodo de filtrado, adaptado para bloquear mecánicamente las macropartículas desviadas de la trayectoria hacia el sustrato, de acuerdo con mencionado anteriormente.

Por lo tanto, el método de acuerdo con la presente divulgación se basa en la diferente velocidad de las micropartículas y macropartículas emitidas al mismo tiempo que el plasma desde la superficie del cátodo. Los iones tienen una velocidad de aproximadamente  $10^6$  cm/s por segundo y las macropartículas tienen una velocidad de aproximadamente  $10^2 - 2 \times 10^4$  cm/s.

El método hace uso de la distancia entre el cátodo y el sustrato, a lo largo de la que las macropartículas están espacialmente separadas de las micropartículas, iones y electrones. En particular, debido a su mayor velocidad, los

iones y las micropartículas se mueven hacia el sustrato más rápidamente que las macropartículas. De entre las macropartículas, primero, las macropartículas más rápidas y más pequeñas y después las macropartículas más lentas y más grandes se mueven hacia el sustrato.

- 5 De acuerdo con el método, se realiza la auto-limpieza de las macropartículas de cualquier tamaño, es decir, las fuerzas de repulsión en el plasma se utilizan para impulsar las macropartículas fuera de la trayectoria hacia el sustrato. El filtro electrostático ayuda a realizar el filtrado de las macropartículas que no han sido suficientemente repelidas por el procedimiento anterior.
- 10 Otras características y ventajas de la presente invención quedarán claras a partir de la siguiente descripción a continuación, proporcionada con referencia a los dibujos adjuntos, solamente a modo de un ejemplo no limitativo.

### Breve descripción de los dibujos

- 15 La Figura 1 muestra en forma esquemática un sistema de filtrado de acuerdo con la presente divulgación. Las Figuras 2-4 muestran en forma esquemática un detalle del sistema de filtrado que se muestra en la Figura 1 de acuerdo con las realizaciones respectivas.

### Descripción detallada

- 20 A continuación sigue, con referencia a las figuras adjuntas, una descripción del procedimiento de filtrado de acuerdo con la presente divulgación, durante un proceso para generar el plasma para revestir un sustrato.

- 25 El plasma se genera por medio de la aplicación de un arco en una fuente de cátodo 1. Por ejemplo, por medio de una descarga pulsada de la fuente 1, las macropartículas se emiten en un plasma que comprende también iones, micropartículas y electrones. Durante el pulso de descarga principal, las macropartículas se cargan negativamente y cuando permanecen fuera del plasma, debido a su velocidad más baja en comparación con el resto del plasma, cambian su carga eléctrica, asumiendo por tanto una carga positiva.

- 30 Como resultado del cambio de carga, la temperatura de las macropartículas y los iones se incrementa y una emisión termoiónica y fotoemisión de electrones de la radiación ultravioleta tienen lugar. En particular, en un espacio entre la fuente y el sustrato una sobrecarga de macropartículas con una carga positiva se produce en ausencia de plasma; esto tiene lugar debido a que los iones, los electrones y las micropartículas del plasma ya han salido del espacio, moviéndose hacia el sustrato 2 a revestir, en un intervalo de tiempo más corto que la duración del pulso. Por  
35 ejemplo, la duración del pulso puede ser de 100 ms, y en el intervalo de tiempo de 100 ms de pulso los iones, los electrones y las micropartículas pueden haber ya superado las macropartículas.

- De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, un campo eléctrico, que también se denomina campo de desaceleración o deflexión, se aplica a lo largo de la trayectoria de las macropartículas de la fuente 1 al sustrato 2, que repele o desvía las macropartículas electrostáticamente cargadas. En particular, debido a la ausencia de plasma (iones, micropartículas y electrones) y a la presencia de las macropartículas cargadas de baja densidad en el espacio entre el cátodo 1 (fuente) y el sustrato 2, es posible realizar la separación electrostática en los intervalos de tiempo entre los pulsos (por medio de la aplicación del campo electrostático).

- 45 De hecho, en estas condiciones, no hay limitaciones asociadas con la filtración plasmática de los campos eléctricos. Por tanto, es posible utilizar electrodos con el fin de crear un campo electrostático de retraso a largo de la trayectoria de las macropartículas de carga positiva, por ejemplo, utilizando una de rejilla con una gran malla (10-50 mm) o por medio de electrodos independientes.

- 50 El campo electrostático de retraso se crea por al menos dos electrodos que se disponen entre la zona de erosión del cátodo (fuente 1) y una superficie de revestimiento del sustrato 2. Un electrodo con el mismo potencial que las macropartículas, o ánodo electrostático, se asocia con la superficie revestida del sustrato, por ejemplo, próxima a la misma. El ánodo electrostático puede consistir en el propio sustrato, por ejemplo, el sustrato 2 de la Figura 1. Un segundo electrodo, o cátodo electrostático, puede, por ejemplo, asociarse con una cámara de vacío 3.

- 55 De acuerdo con la presente divulgación, mediante la aplicación de un potencial eléctrico entre los electrodos con valor

$$U > (mv^2)/2e,$$

- 60 donde  $m$  es la masa de una macropartícula,  $V$  es su velocidad hacia el sustrato y  $e$  es su carga eléctrica, es posible empujar la partícula de masa  $m$  y carga  $e$  en la dirección opuesta a la dirección de movimiento del plasma (iones, electrones y micropartículas) hacia el sustrato 2.

- Las macropartículas para las que se ha producido la condición  $U$  anterior son repelidos por el campo electrostático, sin poder alcanzar el sustrato 2.

- 65 Las macropartículas para las que la condición  $U$  anterior no se ha producido son capaces de alcanzar el sustrato 2.

Sin embargo, estas macropartículas pueden tener una energía cinética significativamente menor y tienen una pobre adhesión al sustrato 2. Lo anterior se produce especialmente con los cátodos 1 fabricados de un material con una alta resistencia de fusión, que consisten por ejemplo en carbono, tungsteno o cromo, que generan principalmente micropartículas en forma de fragmentos sólidos y micro-gotitas no líquidas.

5 Por otra parte, las macropartículas que se depositan sobre el sustrato 2 tienen la misma polaridad que el sustrato 2 y por lo tanto son tales como para ser repelidas. Las macropartículas neutras frías que caen de las paredes de la cámara de vacío 3 sobre la superficie a revestir del sustrato 2 son repelidas de manera similar por el mismo.

10 La eficacia del método de filtrado por campo electrostático es proporcionalmente menor al aumento en el tamaño de las macropartículas, a pesar de que estas partículas tienen una velocidad que es menor que la de las macropartículas más pequeñas. Esta pérdida de eficacia se debe al hecho de que, en la condición  $U > = (mV^2)/2e$ , la relación entre la carga  $e$  y la masa  $m$  de las macropartículas más grandes es menor que la relación entre la carga  $e$  y la masa  $m$  de las macropartículas más pequeñas; de hecho, la carga aumenta en proporción a la superficie o al cuadrado del radio mientras que la masa aumenta en proporción al cubo del radio. Sin embargo, las macropartículas grandes tienen también una velocidad menor que las partículas más pequeñas.

15 Ventajosamente, la divulgación prevé por tanto la aplicación del campo electrostático para filtrar específicamente macropartículas con un tamaño más pequeño que un umbral predefinido y una alta velocidad. En este caso, se aplica una tensión constante y/o pulsada en el ánodo electrostático que tiene la misma polaridad que las macropartículas cuando no hay deposición del plasma (iones, electrones, micropartículas) sobre el sustrato.

20 Como se ha mencionado, el ánodo puede ser el propio sustrato 2. Sin embargo, el ánodo electrostático puede consistir en un componente separado, situado entre el sustrato 2 y el cátodo 1. Esta disposición separada del ánodo electrostático es adecuada en el caso en que la superficie a revestir no es conductora y, por tanto, el sustrato no puede actuar como un ánodo electrostático, o en el caso en que no es deseable aplicar un potencial al sustrato 2. El sustrato 2 se puede situar también entre el ánodo electrostático y el cátodo 1; esta disposición separada del ánodo electrostático es también adecuada para revestimientos no conductores o si no es deseable aplicar un potencial al sustrato. Son posibles diferentes configuraciones, por ejemplo, mediante la colocación de un ánodo tanto delante como detrás del sustrato 2. Las Figuras 2 a 4 muestran diferentes configuraciones del sustrato 2 con respecto al ánodo 4; estando el cátodo asociado con la fuente 1.

25 Para macropartículas que son más grandes que el umbral predefinido, con una relación mayor entre la carga y la masa de la macropartícula y por tanto con una velocidad más baja hacia el sustrato 2, es decir, aquellas macropartículas que no están suficientemente caliente como para producir una emisión termoiónica de electrones, se prevé el uso de un electrodo de filtrado 5 con un potencial positivo. El electrodo de filtrado 5 (Figuras 2-4) realiza un filtrado mecánico de las partículas emitidas desde el cátodo más allá de un ángulo predefinido  $x$ . En particular, debido a su potencial positivo, el electrodo de filtrado 5 puede también utilizarse como un filtro electrostático 4.

30 El electrodo de filtrado 5 es particularmente eficaz para bloquear las macropartículas grandes y frías de hecho, mientras que las macropartículas calientes tienen tiempo de cambiar el signo de carga y por tanto se pueden retrasar eficazmente por el filtro electrostático 4, las macropartículas grandes y frías no logran revertir su carga y pueden proceder peligrosamente hacia el sustrato 2; en este caso, el electrodo de filtrado 5 forma un escudo que protege el sustrato 2 de las macropartículas negativamente cargadas.

35 Los parámetros para la descarga entre el cátodo 1 y el ánodo 4 son preferentemente los siguientes:

40 El pulso de corriente es mayor que 300 A. Ventajosamente, el uso de un mismo pulso de corriente, un fenómeno físico que elimina la necesidad de un sistema magnético para concentrar el haz de plasma se produce.

45 La velocidad de movimiento de los lugares de cátodo en la superficie de la fuente 1 se selecciona a fin de realizar la auto-limpieza del plasma.

50 Este modo de auto-limpieza tiene un efecto tanto en las macropartículas más lentas y más grandes como en las macropartículas más rápidas y más pequeñas y se utiliza principalmente para filtrar el plasma de acuerdo con la presente divulgación.

55 Por ejemplo, en el caso de un cátodo 1 fabricado de carbono con un diámetro de 30 mm y una zona de inyección en el centro de la fuente, la duración del pulso se establece entre 0,8 y 1,1 milisegundos.

60 La duración mínima del pulso es equivalente al intervalo de tiempo durante el que la zona de erosión se mueve sobre la superficie del cátodo 1 hasta que llega a un punto sin una línea visual dirigida al sustrato.

65 La duración  $T$  del arco pulsado es menor que o igual a  $D/V_{mp} + \Delta t$ , donde  $D$  es la distancia entre la fuente 1 y el sustrato 2 opuesto,  $V_{mp}$  es la velocidad de las macropartículas y  $\Delta t$  es el tiempo durante el que las macropartículas adquieren carga positiva.

5 El arco se puede iniciar al final y en la superficie lateral L (por ejemplo, Figura 2) del cátodo 1 y debe terminar en la superficie del cátodo 1, en una zona que está situada fuera de la visibilidad del sustrato (por ejemplo, L1 en la Figura 2). La superficie final puede ser la superficie lateral L1 del cátodo o un extremo del cátodo 1 asociado a unos medios de revestimiento 6 que bloquean y evitan la propagación de las macropartículas. Estos medios de revestimiento pueden asociarse con el electrodo de inyección.

10 Si el arco se inicia en un punto en una línea directa y visible entre el cátodo 1 y el sustrato 2, un condensador C1 puede proporcionarse (Figura 1). Dicho condensador se utiliza para estabilizar las condiciones de coacción de los impulsos individuales y reducir la corriente de generación de arco inicial.

La velocidad de movimiento de los lugares de cátodo se regula por medio de una inductancia 7 en el cátodo.

15 Los lugares de cátodo se mueven uno respecto al otro sobre el cátodo 1 a una velocidad que depende de la corriente de descarga. Inicialmente, los lugares de cátodo se mueven rápidamente y, a continuación, reducen su velocidad, puesto que ocupan la superficie del cátodo 1; la ralentización es proporcional a la superficie del cátodo 1 ocupada.

20 Por ejemplo, los lugares de cátodo en un cátodo de carbono 1 aparecen durante un tiempo de trabajo de aproximadamente 100-200 ms y se extinguen gradualmente. Durante este período de tiempo, una macropartícula con una velocidad de 200 m/s se retira del plasma a 2-4 cm del cátodo y una macropartícula con una velocidad de 50 m/s se retira en 0,5 - 1 cm.

25 De acuerdo con la presente divulgación, una condición preferida para la eliminación de las macropartículas de gran tamaño a partir del plasma se produce cuando los lugares de cátodo tienen una velocidad predefinida que el solicitante ha determinado basándose en las siguientes consideraciones y análisis.

30 La duración de la descarga pulsada en el cátodo 1 se ha dividido en un nivel básico en una pluralidad de intervalos, cada uno correspondiente a la generación de un flujo de plasma  $PI_i$ . En la práctica, en el primer intervalo "1" se genera un primer flujo de plasma  $P_1$ , en el segundo intervalo "2" se genera un segundo flujo de plasma  $P_2$ , y así sucesivamente, hasta que en el último intervalo final se genera un flujo de plasma  $P_{final}$ .

35 El plasma  $PI_2$  que se genera en el punto 2 y es causado por el movimiento del arco sobre el cátodo 1, tiene el efecto de impulsar o empujar lejos las macropartículas que han sido emitidas desde la superficie del cátodo 1 en el punto 1 anterior, donde se ha generado el flujo de plasma  $PI_1$ .

La velocidad de movimiento del arco es particularmente importante.

40 De hecho, si la velocidad de los lugares de cátodo es demasiado alta, el plasma  $PI_2$  logra alejarse demasiado lejos del punto en el que las macropartículas, emitidas con el plasma  $PI_1$ , se generaron en el punto 1 y por lo tanto no logra impulsar (barrer) estas macropartículas fuera de la trayectoria hacia el sustrato 2.

45 Viceversa, si la velocidad de los lugares de cátodo es demasiado baja, el flujo de plasma  $PI_1$  generado en el punto 1 impulsa las macropartículas generadas con el plasma  $PI_2$  en el punto 2 hacia el sustrato 2.

El solicitante ha determinado que la velocidad  $V_{cs}$  de movimiento del arco sobre la fuente 1 ideal para limpiar el plasma de las macropartículas es mayor que o igual a la relación de la distancia ( $R_{act}$ ) entre el punto de inyección  $P_i$  del arco y un punto final  $P_f$  del arco sobre la fuente y la duración  $t$  del arco ( $V_{cs} \geq R_{act}/t$ ).

50 El arco que se mueve sobre la fuente a la velocidad  $V_{cs}$  (velocidad superficial) realiza la auto-limpieza del plasma debido a que los electrones, las micropartículas y los iones de material evaporados en el punto  $P_2$  desvían, de la trayectoria hacia el sustrato 2 para revestirse frente a la fuente 1, las macropartículas formadas en el punto  $P_1$  que ha pasado previamente por el arco.

55 Ventajosamente, la deposición de las micropartículas e iones sobre el sustrato 2 se produce sustancialmente sin macropartículas y tiene una alta productividad, debido a la ausencia de filtros que frenan el flujo del plasma limpiado hacia el sustrato, a diferencia de lo previsto por la técnica anterior.

60 En el caso en que se utilizan diferentes materiales en la fuente 1, es importante regular la energía de los iones, depositados, en particular, para revestimientos de DLC. Como resultado de dicha regulación es posible controlar la relación entre las etapas  $sp_2$  y  $sp_3$  y, por tanto, obtener revestimientos en una amplia gama. La energía máxima de los iones se determina por la tensión entre el cátodo y el ánodo y es preferentemente entre 100 y 500 voltios.

65 La energía de los iones en el haz de plasma (flujo) no es la misma. El haz lleva en la parte delantera los electrones, seguido por los iones de alta energía, seguido por los iones de baja energía en la cola del haz; estos últimos pueden reducir la calidad del revestimiento.

5 De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, los iones con energía por debajo de un umbral predeterminado se pueden filtrar también. Para esta operación de filtrado, valores de corriente particulares se fijan en el filtro electrostático; en particular, la corriente aumenta con un aumento en el porcentaje de iones que caen bajo la influencia del filtro electrostático,

10 Finalmente, es posible, mediante el establecimiento de valores de corriente, en el filtro electrostático que supera la corriente de los iones, bloquear completamente el componente iónico del plasma y realizar la limpieza del sustrato por medio de los electrones del plasma.

15 Los componentes estructurales y eléctricos de un sistema de filtrado para la realización del procedimiento de acuerdo con la presente divulgación se describen a continuación con referencia a la figura 1.

20 El sistema comprende una cámara de vacío 3. Una fuente o cátodo 1 y un ánodo 4 se disponen axialmente uno con respecto al otro; por ejemplo, el ánodo 4 es un ánodo acanalado y se sitúa entre el cátodo 1 y un sustrato a revestir 2; como alternativa, un potencial electrostático con polaridad positiva (pulso o CC) se suministra, por ejemplo por medio de un bloque de alimentación, al sustrato a revestir 2, que también actúa como un ánodo electrostático. El ánodo de descarga de arco 4 no se corresponde con el ánodo electrostático y no se conecta eléctricamente al mismo. El potencial electrostático con polaridad negativa se conecta, por ejemplo, a la cámara 3.

25 Una zona de erosión 9 del cátodo 1 se sitúa frente al sustrato 3 a revestir; dicho sustrato 2 puede por ejemplo montarse en un carrusel fijo o giratorio. El sistema comprende un circuito de descarga que incluye una inductancia ajustable 7.

30 Un sistema de inyección 10 enciende un arco sobre la superficie del cátodo 1. Una descarga se produce entre el ánodo 4 y el cátodo electrostático 3, en un intervalo de tiempo  $t$  durante el que el plasma se mueve rápidamente hacia el sustrato 2. En el intervalo entre descargas sucesivas, el ánodo electrostático y el cátodo se utilizan para crear el campo adaptado para retrasar o desviar las macropartículas del plasma.

35 Los iones de plasma y las micropartículas se depositan sobre el sustrato bajo condiciones normales, en concreto, el campo electrostático no tiene ninguna influencia sobre los mismos. Las macropartículas se mueven más lentamente que los iones y, en particular, primero se mueven las partículas más rápidas y más pequeñas, seguidas de las partículas más lentas y más pesadas.

40 Durante la descarga pulsada, la velocidad de los lugares de cátodo se regula por medio de un acelerador de manera que la erosión del cátodo 1 se realiza a modo de auto-limpieza, es decir, empujando las macropartículas generadas en un punto fuera de la trayectoria del sustrato, a través del plasma generado en otro punto. En particular, la zona de erosión termina en una superficie del cátodo que está situada fuera del campo visual del sustrato.

45 A continuación el proceso se repite.

Preferentemente, un electrodo de filtrado 5 con potencial positivo para el filtrado mecánico de las macropartículas se proporciona a la salida del ánodo 4.

El ánodo electrostático 4 se conecta al potencial positivo con al menos 40 voltios menos que el cátodo electrostático.

REIVINDICACIONES

1. Un método para filtrar macropartículas en una deposición física de vapor por arco catódico (PVD) en vacío, comprendiendo dicho método la etapa de evaporar un material de una fuente sólida (1) por medio de una aplicación del arco sobre la fuente, formar un plasma que comprende electrones, micropartículas (vapor) e iones de material evaporado, junto con macropartículas de mayor tamaño que las micropartículas y los iones,  
 5 - la deposición física de vapor por arco catódico (PVD) es pulsada;  
 - siendo dicho material carbono;  
**caracterizado por que**  
 10 el arco se mueve sobre la fuente a una velocidad  $V_{cs}$  (velocidad superficial) a la que los electrones, las micropartículas y los iones del material evaporado en un punto  $P_2$  impulsan, de una trayectoria hacia un sustrato (2) a revestir frente a la fuente, las macropartículas formadas en un punto  $P_1$  que han pasado previamente por el arco, a fin de auto-limpiar el plasma de las macropartículas y permitir la condensación de solo el plasma limpio sobre el sustrato, y en el que  
 15 - el arco tiene un pulso con una corriente mayor que 300 A y concentra el haz de plasma en ausencia del sistema magnético, en el que las macropartículas, debido a su mayor tamaño, tienen un movimiento retrasado con respecto a los electrones, las micropartículas y los iones del plasma, y adquieren una carga positiva fuera del plasma, y en el que  
 - el arco es pulsado con pulsos de una duración predeterminada (T) y  
 20 - un campo electrostático (E) se aplica entre la fuente (1) y el sustrato (2) para mover las macropartículas lejos del sustrato durante los intervalos (I) de aplicación de dichos impulsos (T) del arco pulsado, en el que el campo electrostático (E) es generado por un par de electrodos con una diferencia de potencial U mayor que o igual a  

$$U > = (mV^2)/2e,$$
 25 donde m es la masa de una macropartícula, V es su velocidad hacia el sustrato y e es su carga eléctrica, y en el que un electrodo de dicho par de electrodos con un mismo potencial que las macropartículas está asociado con el sustrato (2).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha velocidad  $V_{cs}$  de movimiento del arco sobre la fuente es mayor que o igual a la relación de la distancia ( $R_{act}$ ) entre un punto de inyección  $P_i$  del arco y un punto final  $P_f$  del arco sobre la fuente y la duración t del arco ( $V_{cs} > = R_{act}/t$ ).
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la velocidad  $V_{cs}$  de movimiento del arco sobre la fuente se regula por medio de una variación de una corriente (C) de pulso ( $I_{mp}$ ) del arco.
- 35 4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** una distancia ( $R_{act}$ ) de movimiento del arco sobre la fuente se regula por medio de una variación de una duración del pulso ( $I_{mp}$ ) de la corriente (C) del arco .
5. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el arco termina en un punto  $P_f$  situado en una porción superficial de la fuente donde las macropartículas generadas por el arco no pueden alcanzar el sustrato.
- 40 6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** dicho punto final  $P_f$  y/o un punto de partida  $P_i$  no están enfrente del sustrato.
7. Método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** dicho punto final  $P_f$  y/o dicho punto de partida  $P_i$  están situados en una superficie lateral de la fuente.
- 45 8. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende un electrodo de filtrado (5) adaptado para bloquear mecánicamente las macropartículas desviadas de dicha trayectoria, teniendo dicho electrodo de filtrado una abertura a través de la que pasa el plasma limpio hacia el sustrato a revestir.
- 50 9. Método de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por que** la duración T del arco pulsado es menor que o igual a  

$$D/V_{mp} + \Delta t,$$
 55 donde D es la distancia entre la fuente (1) y el sustrato opuesto (2),  $V_{mp}$  es la velocidad de las macropartículas y  $\Delta t$  es el tiempo durante el que las macropartículas adquieren carga positiva.
10. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la y una cámara de vacío (3) está asociada con un cátodo electrostático de dicho par de electrodos.
- 60 11. Método de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** el ánodo (4) de dicho par de electrodos es dicho electrodo de filtrado (5).
12. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el ánodo (4) está acanalado.
- 65

13. Sistema para filtrar macropartículas en una deposición física de vapor por arco catódico (PVD) en vacío, que comprende medios para aplicar un arco pulsado sobre una fuente sólida (1) de carbono,

**caracterizado por que**

5 - dichos medios están configurados para mover el arco sobre la fuente de un punto  $P_1$  a un punto  $P_2$  a una velocidad  $V_{cs}$  (velocidad superficial) determinada, estando dicha velocidad  $V_{cs}$  adaptada para impulsar, de una trayectoria hacia un sustrato (2) a revestir frente a la fuente, las macropartículas formadas en el punto  $P_1$ , a través de electrones, micropartículas e iones de carbono evaporados en el punto  $P_2$  en el que

- una corriente pulsada por dichos medios es mayor que 300, en el que

10 - no se proporciona ningún sistema magnético en el sistema para concentrar el plasma, en el que

- los pulsos del arco tienen una duración determinada (T);

el sistema incluye además

un par de electrodos adaptado para configurarse con una diferencia de potencial U mayor que o igual a

$$U > (mV^2)/2e,$$

15 donde m y e son, respectivamente, la masa y la carga eléctrica de una macropartícula que se forma cuando se aplica el arco, y V es la velocidad de la macropartícula, cuando la macropartícula se mueve hacia el sustrato y en el que

20 un electrodo de dicho par de electrodos que está configurado para tener un mismo potencial que las macropartículas cuando se forman las macropartículas, está asociado con el sustrato (2), y configurado para aplicar un campo electrostático (E) entre la fuente (1) y el sustrato (2), estando dicho campo electrostático (E) adaptado para mover las macropartículas lejos del sustrato durante los intervalos (I) de aplicación de dichos pulsos (T) del arco pulsado.

14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por que** dichos medios de control están configurados para establecer una duración T del arco pulsado que es menor que o igual a

$$D/V_{mp} + \Delta t,$$

25 donde D es la distancia entre la fuente (1) y el sustrato opuesto (2),  $V_{mp}$  es la velocidad de las macropartículas, cuando las macropartículas se mueven hacia el sustrato y  $\Delta t$  es el tiempo durante el que las macropartículas adquieren carga positiva.

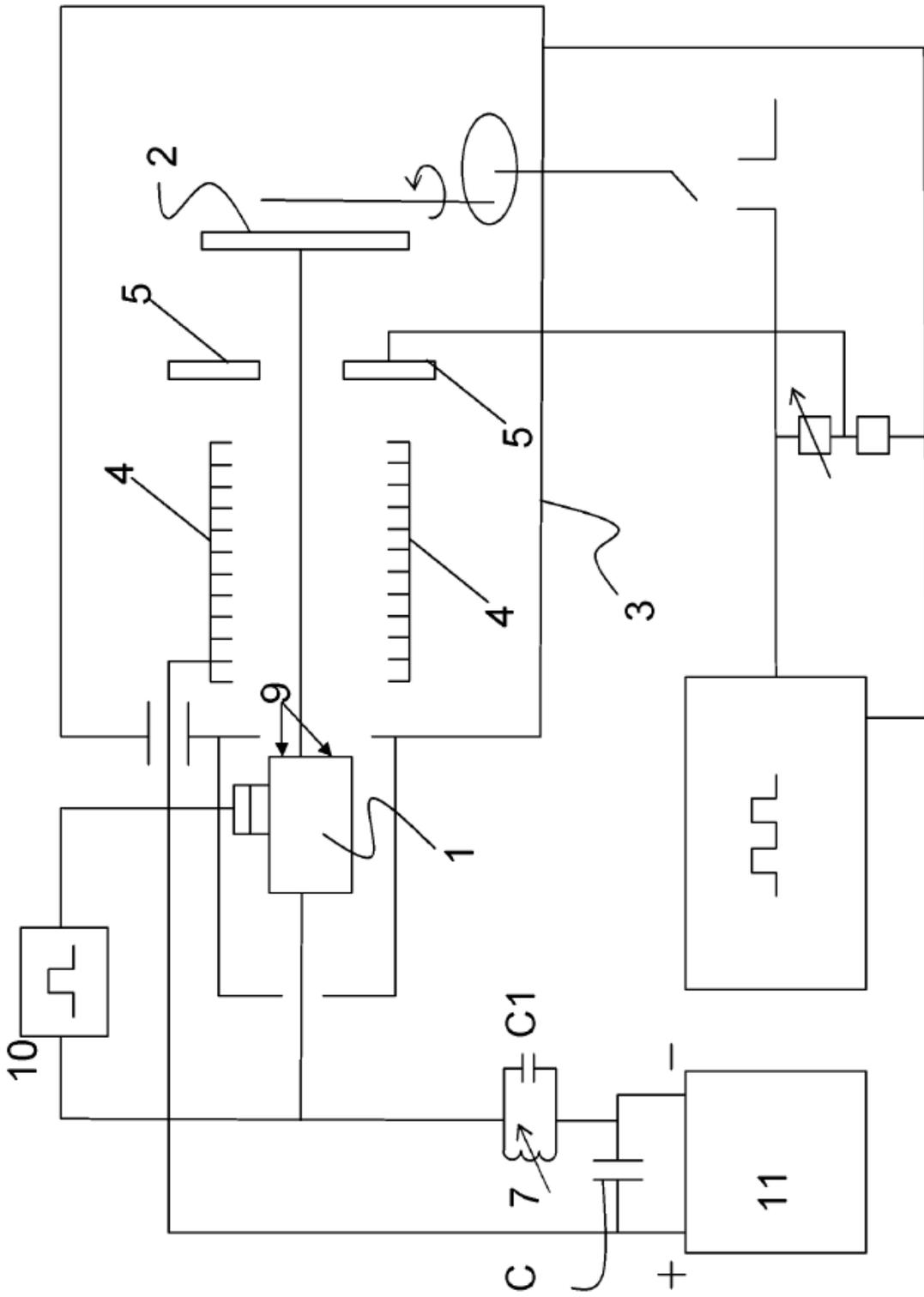


Fig. 1

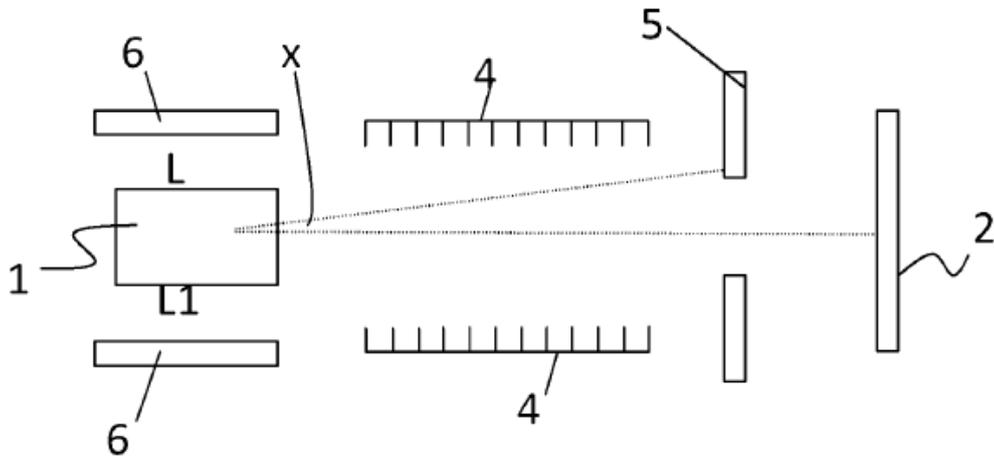


Fig. 2

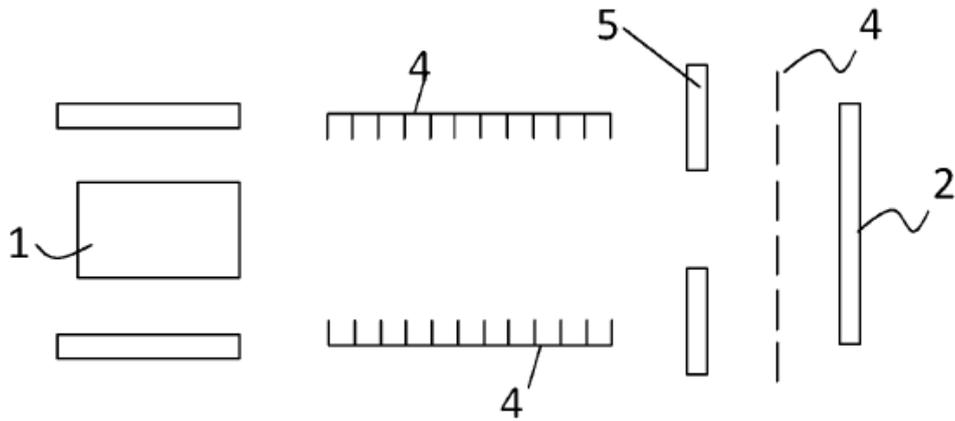


Fig. 3

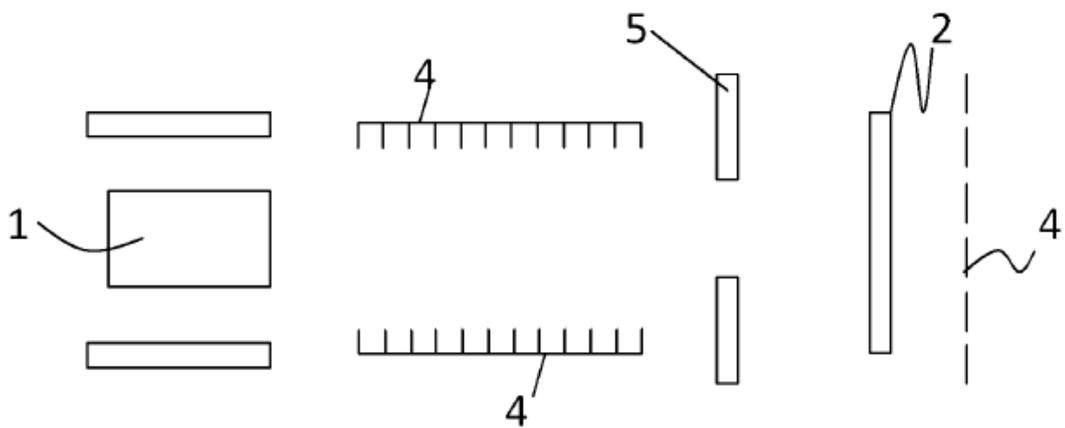


Fig. 4