

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 105**

51 Int. Cl.:

H01J 37/305 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2017 PCT/GB2017/053760**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2018 WO18109489**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2017 E 17818233 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 3555903**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la fabricación de capas aditivas usando haces de partículas cargadas**

30 Prioridad:

16.12.2016 GB 201621508

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

10.03.2021

73 Titular/es:

**RELIANCE PRECISION LIMITED (100.0%)
Rowley Mills, Penistone Road, Lepton
Huddersfield, West Yorkshire HD8 0LE, GB**

72 Inventor/es:

**VAN DEN BERG, JAKOB ALBERT;
HUSSEY, MARTYN JAMES;
LAIDLER, IAN y
RICHARDSON, WILLIAM THOMAS**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 811 105 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 y aparato para la fabricación de capas aditivas usando haces de partículas cargadas

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al control de carga en polvos metálicos en la fabricación de capas aditivas con haces de electrones o de partículas cargadas.

10 Antecedentes de la invención

La fabricación de capas aditivas es un procedimiento de fabricación en el que el material se deposita selectivamente sobre un sustrato en capas para formar un artículo tridimensional. Una de las tecnologías más destacadas empleadas para este procedimiento es la fusión de lecho de polvo, en la que una capa delgada de polvo, típicamente metal o plástico, se funde selectivamente por una fuente de energía como un láser o un haz de electrones. El área fundida de la capa de polvo forma una parte transversal del artículo, mientras que el polvo no fundido en la capa se desecha y generalmente se recicla al final del procedimiento. Después de que la capa se haya fundido selectivamente, se deposita una nueva capa de polvo y a continuación también se funde selectivamente, de modo que el artículo completo se construye capa por capa.

La presente invención se refiere principalmente a la fabricación de capas aditivas utilizando un polvo metálico calentado por un haz de electrones, aunque otras especies cargadas, como iones cargados positivamente, pueden usarse para calentar el lecho de polvo metálico. Un conjunto óptico de electrones proporciona el haz de electrones. El conjunto óptico de electrones comprende una fuente de electrones y campos eléctricos y/o magnéticos para formar, acondicionar y dirigir el haz de electrones. Comúnmente, el haz de electrones se dirige usando deflectores electromagnéticos que se controlan para escanear el haz de electrones a través del lecho de polvo de manera que se pueda escanear o trazar un patrón sobre el lecho de polvo. Se pueden usar disposiciones similares para generar, acondicionar y dirigir un haz de partículas cargadas.

A medida que se escanea el haz de electrones sobre el lecho de polvo, se deposita energía en el polvo, aumentando su temperatura. La exposición al haz de electrones se controla cuidadosamente para garantizar la fusión completa del polvo metálico de modo que las partículas de polvo dentro de la capa superior se fusionen y que las partículas de polvo dentro de la capa superior también se fusionen con la capa anterior formando así un producto sólido.

El polvo metálico es típicamente una aleación metálica, y se ha utilizado una gama de materiales en la fabricación de capas aditivas. Son usadas tanto aleaciones de aluminio como de titanio debido a sus propiedades deseables del material, aunque ambas tienen la desventaja de que ambos materiales tienden a oxidarse y convertirse en polvos aislantes o semiaislantes. Cuando está en este estado aislante o semiaislante, la irradiación con el haz de electrones cargado negativamente hace que las partículas de polvo metálico se carguen y retengan esa carga o una fracción de la misma. Un efecto similar surge cuando se irradia con partículas cargadas positivamente, aunque las partículas de polvo metálico ganan una carga neta positiva en lugar de una carga negativa.

A medida que aumenta la acumulación de carga, las partículas de polvo metálico se repelen entre sí debido a los efectos de carga espacial y pueden formar una nube o región de partículas metálicas cargadas encima o al lado del lecho de polvo. Además, bajo las condiciones de vacío requeridas para el procesamiento del haz de electrones, las partículas metálicas cargadas se mueven libremente debido a la repulsión coulombiana. Las presiones de típicamente 10⁻³ a 10⁻⁶ mbar pueden mantenerse dentro de una cámara de vacío. Por lo tanto, las partículas metálicas cargadas móviles migran alrededor de la cámara de vacío, incluso dentro del conjunto óptico de electrones, donde pueden afectar negativamente el conjunto óptico de electrones. Además, las partículas cargadas pueden migrar a la parte superior del conjunto óptico de electrones, a la fuente de electrones o partículas cargadas, que típicamente se mantendrá a un alto voltaje, como -60 kV. La introducción de partículas metálicas en esta área del conjunto óptico de electrones causará un arco de alto voltaje con posible daño al emisor de electrones o partículas cargadas o a la propia fuente de alto voltaje. Se requiere un tiempo de inactividad significativo para limpiar la columna de estas partículas metálicas. La continuación del procedimiento de fabricación podría dar como resultado piezas de baja calidad, si de hecho la máquina todavía funcionase.

La solicitud de patente internacional WO 2013/098050 describe un procedimiento y un aparato para aumentar la resolución en artículos tridimensionales fabricados aditivamente. La solicitud de patente internacional WO 2008/147306 describe un ejemplo de un aparato de fabricación aditiva que utiliza un haz de electrones para irradiar material en polvo.

Resumen de la invención

Desde un primer aspecto, la presente invención consiste en un procedimiento de mitigación de carga en la fabricación de capas aditivas usando un haz de partículas cargadas para fusionar polvo metálico dentro de un lecho de polvo metálico para formar un producto capa por capa, como se define en la reivindicación 1. El procedimiento comprende usar un sistema óptico de haz de partículas cargadas para formar un haz de partículas cargadas, dirigir el haz de partículas cargadas para que incida sobre un lecho de polvo metálico y escanear sobre el lecho de polvo para fusionar el polvo en una forma de capa deseada.

De la misma forma que dirige el haz de partículas cargadas, el procedimiento comprende además usar una fuente de partículas neutralizadoras para generar partículas neutralizadoras de una carga opuesta a las partículas cargadas en la vecindad del haz de partículas cargadas y/o del lecho de polvo. Por ejemplo, el haz de partículas cargadas puede ser un haz de iones con carga positiva, y las partículas neutralizadoras pueden ser electrones. Sin embargo, en los siguientes párrafos de este resumen de la invención, se supone que el haz de partículas cargadas es un haz de electrones y se supone que las partículas neutralizadoras son iones positivos. El experto en la materia comprenderá que la siguiente descripción puede adaptarse para la disposición alternativa donde el haz de partículas cargadas es un haz de iones con carga positiva y las partículas neutralizadoras son electrones, y la invención funcionará esencialmente de la misma manera y ofrecerá las mismas ventajas.

Los iones positivos serán atraídos por la carga espacial negativa del haz de electrones y el polvo cargado negativamente. Se puede considerar que el haz de electrones produce una carga espacial que atrae y atrapa los iones positivos móviles producidos por una fuente de iones que actúa como fuente de partículas neutralizadoras. Estos iones positivos "atrapados" se moverán a lo largo del haz de electrones hacia un potencial relativamente negativo. Como se señaló anteriormente, el haz de electrones que golpea el lecho de polvo produce una región de partículas de polvo cargadas negativamente en el lecho de polvo y potencialmente cerca del mismo. Por lo tanto, los iones positivos serán atraídos por las partículas de polvo cargadas negativamente, a través del conducto del haz de electrones. y/o moviéndose directamente hacia la diana, donde ayudan a neutralizar parte o la totalidad de esta carga negativa. Esto ayuda a mitigar los efectos adversos de la carga negativa debido al haz de electrones y mantiene a las partículas de polvo por debajo de un umbral de campo eléctrico en el que la interacción de Coulomb las haría móviles. La velocidad a la que la fuente de iones produce iones positivos puede ajustarse para ayudar a equilibrar la velocidad de producción de partículas de polvo cargadas negativamente.

Opcionalmente, la fuente de iones se usa para producir iones positivos de un gas inerte, por ejemplo, un gas inerte, como Helio o Argón. Esto tiene la ventaja de no causar contaminación intersticial de la red metálica del producto metálico resultante, ya que el gas inerte neutralizado puede ser extraído por bombeo por el sistema de vacío.

El control de carga puede obtenerse usando una fuente de iones de descarga de gas, como la que usa una fuente de plasma, también denominada en esta invención fuente de inundación de plasma, o descarga eléctrica para crear los iones. Iones de baja energía se producen en una cámara de descarga. Un gas, típicamente Argón o Helio, se usa para mantener una descarga que conduce a un plasma que está contenido en un espacio confinado que puede suministrar iones de baja energía. Los iones positivos que emanan del plasma fluyen de la fuente, que puede estar polarizada con un pequeño potencial positivo para agregar energía a los iones positivos y son atraídos por la carga espacial negativa del haz de electrones en el que quedan atrapados y/o van directamente a las partículas de polvo cargadas. Los iones positivos tienden a moverse hacia un potencial negativo. Los iones creados en la fuente de iones son atraídos de esta manera hacia el potencial negativo generado por el haz de electrones que interactúa con la capa de óxido en el polvo. De este modo, este procedimiento proporciona iones de baja energía bajo demanda al polvo que se procesa. La energía de los iones puede controlarse mediante el potencial de polarización de la fuente de plasma y elegirse para maximizar el flujo de iones al lecho de polvo cargado sin interferir con el procedimiento de fusión del polvo.

La fuente de iones puede ser una fuente de iones de descarga de gas que se opera para generar los iones positivos. Imanes de confinamiento pueden usarse para confinar el plasma generado a partir de una fuente de gas, como Argón o Helio. Se puede aplicar un pequeño potencial positivo o incluso negativo para controlar la energía de los iones después de que hayan escapado del límite del plasma con una energía establecida por el potencial del plasma, y se muevan al cuerpo de la cámara de vacío. Los iones positivos pueden moverse hacia el potencial de carga espacial negativa del haz de electrones e interceptar el haz de electrones. En esta configuración, iones positivos también salen de la fuente y viajan directamente al lecho de polvo cuya carga negativa atraerá a los iones positivos. La fuente de iones puede ser una fuente de plasma de CC, que utiliza campos magnéticos de CC y que tiene una corriente de CC que fluye a través de un filamento de la fuente de plasma. El uso de fuentes de CC para confinamiento magnético y generación de plasma minimiza el efecto que tendrían los campos magnéticos y eléctricos que varían en el tiempo

sobre el haz de electrones, que podrían desviar el haz de electrones y causar errores de escritura cuando se escanea el haz de electrones.

Además del potencial negativo causado por las partículas de polvo en y sobre el lecho de polvo, puede surgir un potencial negativo adicional debido al sistema óptico de electrones, especialmente el voltaje de aceleración aplicado a la fuente de electrones. Esto se debe a que el sistema óptico de electrones se mantiene a un potencial negativo significativo para acelerar los electrones en el haz de electrones saliendo de una fuente de electrones y hacia el lecho de polvo. Sin intervención, los iones positivos atrapados dentro del haz de electrones también podrían migrar hacia la fuente de electrones y causar daños por impacto a un emisor de electrones de la fuente de electrones causando degradación en el rendimiento. Para evitar esto, el procedimiento puede comprender el uso de un electrodo para establecer un potencial positivo aguas arriba de la fuente de iones, evitando así que los iones positivos pasen del electrodo al sistema óptico de electrones.

El procedimiento según la invención reivindicada comprende dirigir el haz de electrones usando una señal de control. Esta señal de control puede hacer que el haz de electrones se escanee a través de una serie de posiciones predeterminadas, por ejemplo, para trazar y llenar una forma de capa deseada en el lecho de polvo. La señal de control está, según la invención reivindicada, sujeta a una corrección para compensar la perturbación del haz de electrones causada por la fuente de partículas neutralizadoras, que es una fuente de iones en esta realización. Por ejemplo, un campo magnético asociado con la fuente de iones para efectuar el confinamiento del plasma puede desviar el haz de electrones. Además, corrientes que pasan a través de los cables en la fuente de iones, por ejemplo, la corriente del filamento de una fuente de plasma de CC, pueden crear un campo magnético que desvíe el haz de electrones.

La deflexión del haz de electrones de su trayectoria prevista puede provenir de los campos magnéticos y eléctricos generados por los imanes que contienen el plasma y la alta corriente que alimenta la fuente de iones. Cuando se producen estos efectos, generalmente incluirán un cambio de posición en el haz de electrones y un cambio en la calidad del haz (por ejemplo, la forma y/o foco del haz de electrones). En muchas disposiciones, estos efectos dependerán de la posición relativa del haz de electrones y de los campos magnéticos y eléctricos generados. Es decir, dependerán de la posición desviada del haz de electrones sobre el lecho de polvo.

Estos efectos también dependerán de las condiciones de funcionamiento de la fuente de iones y pueden mitigarse mediante un esquema de calibración y corrección. Por ejemplo, la corrección aplicada a la señal de control puede obtenerse de una tabla de consulta que proporcione las correcciones requeridas para una determinada posición deseada del haz de electrones en el lecho de polvo.

Las calibraciones pueden efectuarse midiendo las diferencias entre los valores observados y esperados para la posición del haz de electrones en el lecho de polvo en un intervalo de deflexiones del haz de electrones y condiciones de funcionamiento de la fuente de iones. Durante la calibración, el haz de electrones puede escanearse a través de una serie de posiciones esperadas de haz de electrones en el lecho de polvo mientras la fuente de iones está funcionando. Durante el escaneo, se miden las posiciones reales correspondientes del haz de electrones en el lecho de polvo para cada una de las posiciones esperadas del haz de electrones. La diferencia entre cada par de posiciones esperadas y reales del haz de electrones se puede usar para calcular una corrección que cancele efectivamente la deflexión y la distorsión causada por la fuente de iones. Las correcciones encontradas pueden almacenarse en una tabla de consulta. Estas correcciones pueden aplicarse cuando se esté formando un producto. Por ejemplo, las correcciones pueden aplicarse a los valores de deflexión, foco y estigmador en el sistema óptico del haz de electrones, y pueden basarse en condiciones de funcionamiento tales como la deflexión del haz transversal y la corriente del filamento de la fuente de plasma y los valores de deflexión diana. Como se mencionó anteriormente, una forma conveniente de lograr esto es mediante tablas de búsqueda (TDB) que pueden indexarse por valor de deflexión. Otros procedimientos también están disponibles.

Desde un segundo aspecto, la presente invención consiste en un aparato de fabricación de capas aditivas según la reivindicación 5. El aparato comprende un conjunto óptico de electrones. El conjunto óptico de electrones comprende una fuente de electrones, un aparato de formación de haz de electrones operable para formar un haz a partir de los electrones proporcionados por la fuente de electrones, y un aparato de dirección de haz de electrones operable para dirigir el haz de electrones formado por el aparato de formación de haz de electrones. El aparato de fabricación de capas aditivas comprende además al menos una tolva operable para dispensar polvo y una mesa posicionada para recibir el polvo dispensado por la al menos una tolva en un volumen que define un lecho de polvo para recibir el haz de electrones. El aparato de dirección del haz de electrones es operable para escanear el haz de electrones sobre el lecho de polvo. El aparato de fabricación de capas aditivas comprende además una cámara de vacío a través de la cual pasa el haz de electrones antes de incidir en el lecho de polvo y una fuente de iones operable para proporcionar iones positivos en la cámara cerca del haz de electrones. y/o lecho de polvo de tal manera que los iones positivos son

atraídos por el haz de electrones y/o partículas de polvo con carga negativa.

Otras características opcionales del aparato de fabricación de capas aditivas se exponen en las reivindicaciones adjuntas 6 a 15.

5

Breve descripción de los dibujos

Para que la invención pueda entenderse más fácilmente, ahora se hará referencia, solo a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos en los que:

10

La Figura 1 muestra un aparato de fabricación de capas aditivas con el que puede usarse la presente invención; La Figura 2 es una representación esquemática de un conjunto óptico de electrones operable para proporcionar un haz de electrones y para escanear el haz de electrones según las realizaciones de la presente invención, con la Figura 2a correspondiente a una vista lateral y la Figura 2b correspondiente a una vista a través de la línea B-B de la Figura 2a;

15

La Figura 3 es una representación esquemática de una fuente de descarga de iones o plasma;

La Figura 4 es una representación esquemática de cómo los iones positivos producidos por la fuente de iones pueden interactuar con el haz de electrones y el polvo metálico 122;

20

La Figura 5 muestra un procedimiento para calibrar un aparato de fabricación aditiva para compensar las deflexiones del haz de iones causadas por la fuente de plasma; y

La Figura 6 muestra un procedimiento para operar un aparato de fabricación aditiva que incluye compensar las deflexiones del haz de electrones causadas por la fuente de plasma.

Descripción detallada de las realizaciones

25

La Figura 1 muestra el aparato de fabricación de capas aditivas 100 en el que se pueden implementar realizaciones de la presente invención. El aparato 100 que se muestra en la Figura 1 está configurado para la fabricación de capas aditivas a partir de polvo metálico mediante un haz de electrones.

30

Con este fin, el aparato 100 comprende un conjunto óptico de electrones 101 que forma, condiciona y dirige un haz de electrones 103, como se describirá con más detalle a continuación. El aparato 100 comprende además tolvas de polvo 121 que contienen polvo metálico 122 y una mesa móvil 130. Las tolvas 121 dispensan polvo para colocar una capa delgada del polvo sobre la mesa 130. Se puede usar cualquier número de tolvas 121, y las dos mostradas en la Figura 1 son solo un ejemplo. Se puede usar un mecanismo tal como un raspador o cuchilla (no mostrado) para dispersar el polvo 122 uniformemente sobre la mesa 130. El conjunto óptico de electrones 101 dirige el haz de electrones 103 de tal manera que el haz de electrones 103 se escanea sobre el lecho de polvo 123 para fusionar el polvo 122 y formar un producto sólido 150. El aparato 100 también incluye una fuente de plasma 160 colocada entre el conjunto óptico de electrones 101 y el lecho de polvo 123.

35

40

Después de que se haya formado cada capa del producto 150, la mesa 130 se baja en la dirección indicada por la flecha 131. La mesa 130 se baja de modo que la superficie superior del lecho de polvo 123 siempre se forme a la misma altura con respecto al haz de electrones 103. La capa inicial del lecho de polvo 123 puede depositarse para que sea más gruesa que las capas sucesivas para minimizar la conducción de calor a la mesa 130, lo que puede hacer que el polvo 122 se fusione con la mesa 130. Por lo tanto, una capa completa de polvo no fusionado 124 se deja

45

debajo del producto 150 a medida que se forma. La fabricación aditiva usando haces de electrones se realiza bajo condiciones de vacío, por lo tanto, el aparato 100 comprende una cámara de vacío 140 que lo encierra. El vacío dentro de la cámara de vacío 140 es creado y mantenido por un sistema de bombeo 144, como cualquier sistema de bombeo comúnmente disponible, por ejemplo, una bomba turbomolecular respaldada por una bomba de vacío preliminar. El sistema de bombeo 144 puede ser controlado por un controlador 110. Como se muestra en la Figura 1, el sistema de bombeo 144 puede usarse para evacuar la porción de la cámara de vacío 140 que aloja el conjunto óptico de electrones 101. La presión en la cámara de vacío 140 puede estar en el intervalo de 1×10^{-3} mbar a 1×10^{-6} mbar.

50

55

Las Figuras 2a y 2b muestran el conjunto óptico de electrones 101 con más detalle. El conjunto óptico de electrones 101 comprende una fuente de electrones 102 para generar y emitir electrones, lentes 220 para formar y acondicionar un haz de electrones 103 a partir de los electrones emitidos, y uno o más deflectores electromagnéticos 240 para dirigir el haz de electrones 103. Un electrodo cilíndrico 250 provisto de una abertura central 251 se coloca inmediatamente debajo de los deflectores 240. El propósito de este electrodo cilíndrico 250 se explicará más adelante.

60

El funcionamiento de la fuente de electrones 102, las lentes 220, los deflectores 240 y el electrodo cilíndrico 250 es controlado por un controlador 110 tal como una computadora adecuadamente programada. Se puede usar cualquier disposición convencional de fuente de electrones 102, lentes 220 y deflectores 240, por lo que no se describirá en detalle aquí. Esencialmente, la fuente de electrones 102 y las lentes 220 entregan un haz de electrones enfocado 103 que viaja a lo largo del eje central 202 del conjunto óptico de electrones 101 que a continuación es desviado por los deflectores 240 para escanear el haz de electrones 103 sobre el lecho de polvo 123. La abertura 251 provista en el electrodo cilíndrico 250 está alineada con el eje central 202 y tiene un tamaño tal que el haz de electrones 103 pasa a través de la abertura y no toca el borde de la abertura 251 en la deflexión de trabajo completa del haz de electrones 103.

10

La Figura 1 muestra una fuente de plasma 160 colocada dentro de la cámara de vacío 140. En esta realización, la fuente de plasma 160 es controlada por el controlador 110. La fuente de plasma 160 está montada en la cámara de vacío 140, por ejemplo, a través de una alimentación montada en una brida. La alimentación puede proporcionar conexiones eléctricas a la fuente de plasma 160, por ejemplo, conexiones para una fuente de alimentación y para el controlador 110.

15

La Figura 3 muestra la fuente de plasma 160 con más detalle. La fuente de plasma 160 comprende una cámara de arco 310 en la que se genera y confina un plasma. Un gas fuente, típicamente Argón o Helio, se suministra a la cámara de arco 310 a través de una línea de suministro de gas 312. El suministro de gas puede activarse y desactivarse utilizando la válvula 314. Se utiliza una descarga de arco que se extiende entre un filamento caliente 320 y las paredes de la cámara de arco 310 para ionizar las moléculas del gas fuente para crear el plasma. Para crear una descarga eléctrica, el filamento 320 se mantiene a un potencial negativo moderado en relación con la cámara de arco 310. Una fuente de alimentación del filamento 322 se usa para proporcionar una corriente al filamento 320 y una fuente de alimentación de arco 324 se usa para proporcionar una diferencia de potencial entre el filamento 320 y la cámara de arco 310 mayor que la requerida para la ionización de moléculas de gas por impacto de electrones, que crea una descarga de arco eléctrico entre el filamento caliente 320 y la cámara de arco 310. En lugar de mantener la cámara de arco 310 al potencial de tierra, una pequeña polarización positiva es colocada en la cámara de arco 310 por un suministro de polarización de fuente 326 para hacer que los iones positivos fluyan hacia la cámara de procesamiento de polvo.

20

La descarga de arco creada entre el filamento 320 y la cámara de arco 310 ioniza las moléculas de gas dentro de la cámara de arco 310, creando así un plasma que es confinado principalmente por un conjunto de imanes 330 y el campo magnético creado por el filamento 320. Una corriente constante de iones puede escapar a través de una abertura 311 prevista en la cámara de arco 310 y a continuación desde el límite del plasma que se extenderá ligeramente más allá de la abertura 311. Los iones tendrán una energía establecida por el potencial del plasma en ausencia de un potencial de polarización aplicado a la cámara de arco 310. Estos iones serán atraídos a potenciales relativamente negativos en la cámara de vacío 140, por ejemplo, el potencial negativo del haz de electrones 103 y cualquier partícula de polvo cargada 122.

25

La fuente de plasma 160 se coloca entre el conjunto óptico de electrones 101 y el lecho de polvo 123. El flujo de iones positivos producidos por la fuente de plasma 160 se muestra esquemáticamente en la Figura 1 y se indica con el número de referencia 162. Los iones positivos 162 se alejan de la fuente de plasma 160 y son atraídos por el haz de electrones cargado negativamente 103, así como por las partículas de polvo con carga negativa 122. Se produce un área distribuida de iones positivos cerca del lecho de polvo 123, y la movilidad de los iones ayuda al sistema a autorregularse. Los iones viajan a áreas de potencial negativo creciente cuando las partículas de polvo con carga negativa 122 se liberan del polvo, y en el caso de que se seleccione Helio como gas fuente, su mayor movilidad iónica debido a su menor masa atómica puede ayudar a su capacidad para neutralizar la acumulación de carga en el polvo 122.

30

La Figura 4 muestra la interacción de los iones positivos 162 con el haz de electrones 103 y el polvo 122 con más detalle. Como se indicó anteriormente, la interacción del haz de electrones cargado negativamente 103 con las partículas de polvo 122 puede hacer que las partículas 122 se carguen, por ejemplo, cuando las partículas de polvo 122 se han oxidado y, por lo tanto, son aislantes o solo semiconductoras. Las partículas de polvo cargadas negativamente 122 forman una nube de carga espacial negativa por encima del lecho de polvo 123, como se muestra esquemáticamente en la Figura 4 en 410.

35

La Figura 4 también muestra esquemáticamente el haz de electrones cargado negativamente 103, y cómo los iones positivos 162 pueden quedar atrapados en primera instancia con el potencial de carga espacial negativa del haz de electrones 103. Estos iones positivos 162 también son atraídos por el mayor potencial negativo creado por las partículas de polvo cargadas en el lecho de polvo 123 y, por lo tanto, se mueven en la dirección indicada por las flechas

40

420. Los iones positivos 162 que llegan a la nube de carga espacial 410 de partículas de polvo cargadas negativamente 122 y partículas de polvo 122 en el lecho de polvo 123 compensan total o parcialmente la carga en las partículas de polvo. La compensación de carga de las partículas de polvo cargadas de esta manera mitiga los efectos adversos de las partículas de polvo cargadas. En particular, mitiga el efecto donde las partículas de polvo cargadas se repelen entre sí y se "extienden" alrededor de la cámara de vacío 140 y dentro del conjunto óptico de electrones 101, causando carga localizada y rupturas de alto voltaje en el conjunto óptico de electrones 101, y la interrupción del procedimiento de fusión de capas.

La fuente de electrones 103 se mantiene a un potencial negativo en relación con el haz de electrones 103 para acelerar los electrones en el haz 103. Sin embargo, este potencial negativo atrae a los iones positivos 162 de la misma manera que el potencial negativo de la nube 410 de partículas de polvo cargadas. Sin ninguna acción correctiva, los iones positivos 162 migrarían al conjunto óptico de electrones 101 y potencialmente podrían ser acelerados hacia la fuente de electrones 102 causando calentamiento adicional y daños al emisor de electrones. Para evitar esto, se proporciona el electrodo cilíndrico 250. El controlador 110 establece el potencial del electrodo cilíndrico 250 para que sea lo suficientemente positivo como para formar una barrera al flujo ascendente de cualquier ion positivo 162. En consecuencia, el electrodo cilíndrico 250 repele los iones positivos 162 de modo que ninguno de los iones positivos 162 pueda migrar al conjunto óptico de electrones 101. Esto se muestra esquemáticamente en la Figura 4 mediante las flechas 430.

La fuente de plasma 160 genera campos electromagnéticos estáticos en virtud de los imanes de confinamiento del plasma 330 y la corriente eléctrica en el filamento 322. La suma de estos campos actuará en el haz de electrones 103 y provocará una deflexión del haz de electrones 103. Sin embargo, la compensación por esta deflexión puede obtenerse calibrando el aparato de fabricación de capas aditivas 100, por ejemplo, como se describe a continuación.

La calibración se efectúa utilizando una matriz bidimensional de 'marcadores', detectable por las variaciones de amplitud en la corriente de electrones dispersados de vuelta y de la posición relativa conocida previamente medida. La posición observada de cada marcador en la matriz se mide y se compara con la posición esperada de la medición anterior. A partir de las diferencias, se calculan y aplican valores de corrección.

Tal procedimiento de calibración 500 se muestra en la Figura 5. El procedimiento 500 comienza en la etapa 510 donde el controlador 110 de la Figura 1 recupera un archivo de configuraciones. Este archivo de configuraciones proporciona las configuraciones requeridas para el conjunto óptico de electrones 101 para posicionar el haz de electrones 103 en una posición deseada en el lecho de polvo 123. Las configuraciones suponen que no hay una fuente de plasma 160 o que la fuente de plasma 160 no está funcionando. Por ejemplo, las configuraciones se pueden obtener haciendo funcionar el aparato 100 sin la fuente de plasma 160 activada, y registrando las configuraciones utilizadas para obtener cada posición del haz de electrones 103. El archivo de configuraciones puede ser una tabla de consulta indexada por direcciones del haz de electrones 103 en el lecho de polvo 123 y que proporciona las configuraciones encontradas para colocar el haz de electrones 103 en esa dirección.

En la etapa 512, el controlador 110 dirige el conjunto óptico de electrones 101 para iniciar el haz de electrones 103. Al inicio del haz, el haz de electrones 103 se dirige para estar libre del lecho de polvo 123.

En la etapa 520, el controlador 110 toma una dirección del archivo de configuraciones y aplica las configuraciones correspondientes al conjunto óptico de electrones 101 estableciendo así una posición del haz de electrones 103. A continuación, se mide la posición real del haz de electrones 103 en el lecho de polvo 123. Esto puede hacerse mediante cualquier técnica convencional, por ejemplo, capturando imágenes del haz de electrones 103 en placas de marcadores calibrados y utilizando técnicas de análisis de imágenes para determinar la posición del haz. En la etapa 524, el controlador 110 realiza una prueba para determinar si la posición real medida coincide con la ubicación de la dirección, es decir, si el haz de electrones 103 se ajustó con éxito a la dirección deseada en el lecho de polvo 123 o si el haz de electrones 103 se ha desviado de la posición deseada. Si la posición real coincide con la posición de la dirección deseada, el procedimiento puede proceder directamente a la etapa 540 donde se almacena un factor de ajuste a cero en un archivo de ajustes para indicar que no es necesario realizar ningún ajuste en las configuraciones utilizadas para esta dirección. Sin embargo, si se determina que la posición real no coincide con la posición de la dirección deseada, el procedimiento 500 continúa a la etapa 526. En la etapa 526, el controlador 110 calcula un ajuste para las configuraciones que deberían hacer que el haz de electrones 103 regrese a la posición de la dirección deseada en el lecho de polvo 123. Esto puede hacerse, por ejemplo, aplicando un factor de corrección lineal que multiplica la diferencia entre la posición deseada y la posición real por un factor de escala. El factor de escala puede determinarse empíricamente. En cualquier caso, la corrección no necesita ser exacta, ya que se realiza una prueba y el procedimiento puede volver a esta etapa de correcciones permitiendo así que el factor de corrección se mejore de forma iterativa. Ahora se describirá cómo se prueba el ajuste.

Para probar si el ajuste es exitoso para asegurar que el haz de electrones 103 esté configurado en la posición de la dirección deseada, la etapa 530 ve que el controlador 110 aplica los ajustes a las configuraciones, y, a continuación, aplica las configuraciones ajustadas al conjunto óptico de electrones 101, configurando así una posición del haz de electrones 103. A continuación, en la etapa 532, la posición real del haz de electrones 103 en el lecho de polvo 123 se mide una vez más, por ejemplo, usando las placas de marcadores calibrados y, en la etapa 534, la prueba para determinar si la posición real medida coincide con la ubicación de la dirección es repetida por el controlador 110. Si la posición real no coincide con la posición de la dirección deseada, el procedimiento 500 vuelve a través del lazo 535 a la etapa 526 donde el ajuste se vuelve a calcular, se aplica de nuevo y se vuelve a probar una y otra vez hasta que el error residual esté por debajo de un valor aceptable. De esta manera, el ajuste requerido puede encontrarse iterativamente. Una vez que el controlador 110 determina que la posición real coincide con la posición de la dirección deseada en el lecho de polvo 123, el procedimiento 500 puede proceder a la etapa 540 donde el ajuste se almacena en un archivo de ajustes.

Este archivo de ajustes es una tabla de consulta que relaciona direcciones en el lecho de polvo 123 con un factor de ajuste que se aplicará a las configuraciones almacenadas en el archivo de configuraciones para la misma dirección. Estos factores de ajuste se almacenan en memoria en una matriz 2D, indexados por la posición deseada del haz de electrones 103. A partir de estos factores de ajuste, se puede aplicar un ajuste de curva 2D para determinar los coeficientes de una ecuación polinómica que describe una relación que describe los factores de ajuste. Por ejemplo, polinomios de la forma $X' = a_0 + a_1.X + a_2.X^2 + a_3.X.Y + a_4.Y + a_5.Y^2 + \dots$, puede usarse donde a_0, a_1 , etc. son los coeficientes del polinomio y el orden del polinomio puede o no estar limitado al segundo orden mostrado. Hay muchos tipos de ajustes que pueden usarse, incluidos, entre otros, splines cúbicos y polinomios de Lagrange. Este polinomio se puede usar para producir una tabla de consulta de grano más fino o, alternativamente, los coeficientes se pueden aplicar directamente a los valores de deflexión deseados establecidos en el conjunto óptico de electrones 101 para producir la posición deseada del haz de electrones 103. Por lo tanto, los factores de ajuste pueden almacenarse en una tabla de consulta o pueden almacenarse los coeficientes. Como se apreciará, en lugar de almacenar factores de ajuste que se deben aplicar a las configuraciones del conjunto óptico de electrones 101, se pueden almacenar configuraciones corregidas que se aplican directamente al conjunto óptico de electrones 101.

Cuando la fuente de plasma 160 está en funcionamiento, el archivo de ajustes puede usarse para aplicar ajustes a las configuraciones usadas para el conjunto óptico de electrones 101 para compensar la deflexión del haz de electrones causada por la fuente de plasma 160.

Volviendo al procedimiento 500 de la Figura 5, una vez que el ajuste se ha almacenado en la etapa 540, el procedimiento 500 continúa a la etapa 550 donde el controlador 110 verifica si todas las direcciones han sido calibradas. Si todas las direcciones han sido calibradas, el procedimiento continúa con la etapa 560 donde el haz de electrones 103 y la fuente de plasma 160 están desactivados. Si otras direcciones requieren calibración, el procedimiento 500 continúa de vuelta a lo largo del lazo 555 para volver a la etapa 520 donde el controlador 110 recupera los ajustes para la siguiente dirección y los aplica al conjunto óptico de electrones 101. A continuación, el procedimiento continúa a través de las etapas 522, 524, 526, 530, 532, 534, 540 y 550 como se describió anteriormente para completar la calibración para esa dirección.

El procedimiento de medición de la Figura 5 puede repetirse para un intervalo de condiciones de funcionamiento de la fuente de plasma 160, incluido el no funcionamiento, para construir un conjunto de tablas de búsqueda que contienen los factores de ajuste (que pueden ser polinomios del tipo descrito anteriormente).

La Figura 6 muestra un procedimiento 600 para operar un aparato de fabricación aditiva que incluye la compensación de deflexiones del haz de electrones 103 causadas por la fuente de plasma 160, por ejemplo, usando ajustes encontrados de acuerdo con el procedimiento 500 de la Figura 5.

En la etapa 610, el controlador 110 recupera el archivo de configuraciones apropiado y el archivo de ajustes apropiado que contiene la tabla de consulta que proporciona los ajustes requeridos para cada dirección en el lecho de polvo 123. El archivo de ajuste recuperado corresponde al almacenado para las configuraciones de operación seleccionadas de la fuente de plasma 160. Cuando las configuraciones corregidas se almacenan en el archivo de ajustes que se aplican directamente al conjunto óptico de electrones 101, solo es necesario recuperar los ajustes archivados.

El controlador 110 también obtiene un archivo de instrucciones para un producto 150 que se realizará en la etapa 612. El archivo de instrucciones contiene las instrucciones que debe seguir el controlador 110 para formar el producto 150, por ejemplo, la secuencia de direcciones para enviar el haz de electrones 103 para formar cada capa del producto 150. El orden de las etapas 610 y 612 puede invertirse, o ambas etapas pueden realizarse simultáneamente.

En la etapa 614, el controlador 110 inicia el haz de electrones 103 y la fuente de plasma 160. Una vez que el conjunto óptico de electrones 101 y la fuente de plasma 160 se encuentran en funcionamiento estable, el controlador 110 puede comenzar a formar el producto, como sigue.

5

En la etapa 620, el controlador 110 recupera la siguiente dirección del archivo de instrucciones. Para el primer paso a través de esta etapa, la dirección será la primera dirección para la primera capa del producto 150. A continuación, en la etapa 622, el controlador 110 recupera las configuraciones para esa dirección del archivo de configuraciones y también recupera los factores de ajuste para esa dirección del archivo de ajustes. Esto producirá los factores de ajuste que se aplicarán a las configuraciones del conjunto óptico de electrones 101. Cuando la dirección deseada no tiene una entrada en los índices de la tabla de consulta, puede usarse la dirección más cercana o los valores para una dirección cercana pueden refinarse más por interpolación.

A continuación, en la etapa 624, los factores de ajuste pueden aplicarse a las configuraciones del conjunto óptico de electrones 101 donde se almacenan los ajustes, o esta etapa puede omitirse cuando valores corregidos se almacenen en el archivo de ajustes. Alternativamente, cuando los coeficientes se almacenan en el archivo de ajustes, los coeficientes polinómicos pueden usarse para calcular las configuraciones del conjunto óptico de electrones 101 para proporcionar la posición deseada del haz de electrones 103 en la etapa 624. Este cálculo puede aplicarse en software (ya sea anteriormente o, como se describe aquí, cuando el valor está por usarse), o puede aplicarse en hardware utilizando una red de multiplicadores y sumadores para generar los términos del polinomio, para aplicar los coeficientes a las configuraciones del conjunto óptico de electrones, y para sumar el todo junto. Esta implementación de hardware puede usar circuitos analógicos, circuitos digitales dedicados o lógica programable.

A continuación, el controlador 110 puede aplicar las configuraciones ajustadas al conjunto óptico de electrones 101 en la etapa 626. Esto hará que el haz de electrones se mueva a la dirección especificada por el archivo de instrucciones.

El controlador 110 determina a continuación si todas las direcciones se han procesado en la etapa 628. Si se han procesado todas las direcciones, entonces el procedimiento 600 pasa a la etapa 640 donde el controlador 110 desactiva el haz de electrones 103 y la fuente de plasma 160. Sin embargo, si no se han procesado todas las direcciones, el procedimiento 600 vuelve a lo largo del lazo 629 a la etapa 620, donde se recupera la siguiente dirección del archivo de instrucciones. El procedimiento puede entonces seguir las etapas 622, 624, 626 y 628 para ver el haz de electrones 103 escaneado a la siguiente dirección. Si la siguiente dirección se marca como perteneciente a la siguiente capa a ser formada, se pueden realizar más etapas entre las etapas 620 y 626 donde la mesa 130 se baja y se extiende nuevo polvo 122 para formar el lecho de polvo 123 para la siguiente capa del producto 150.

35

De esta manera, el haz de electrones 103 puede escanearse a través de todas las direcciones especificadas en el archivo de instrucciones, para cada una de las capas del producto 150, de manera que el producto 150 es formado por fabricación de capas aditivas. Al usar la fuente de plasma 160 y al aplicar los ajustes, la posición del haz de electrones 103 puede controlarse con precisión de modo que la calidad del producto 150 formado sea superior.

40

Los expertos en la materia apreciarán que se pueden hacer variaciones a las realizaciones anteriores sin apartarse del alcance de la invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, una fuente de plasma 160 que usa una cámara de arco 310 se describe anteriormente. Se pueden usar otros tipos de impacto de electrones para crear un plasma. Además, también se puede usar una fuente de iones de RF (radiofrecuencia) o RCE (resonancia de ciclotrón electrónico) o plasma, capaz de suministrar suficientes flujos de iones, y, en tales realizaciones, la configuración es un dispositivo que está atornillado a la cámara 140 y está equipado con un tubo de deriva de iones para guiar el flujo de iones hacia la nube de carga espacial 410.

El aparato 100 está configurado para generar un haz de electrones 103 y escanear el haz de electrones 103 sobre el lecho de polvo 123 para fusionar el polvo metálico 122. Como se señaló anteriormente, se puede usar un haz de iones con carga positiva en lugar del haz de electrones 103. En este caso, los iones positivos utilizados para neutralizar la carga negativa acumulada en y sobre el lecho de polvo 123 pueden reemplazarse con electrones. Por lo tanto, se puede usar una fuente de electrones adecuada, tal como una fuente de plasma 160, con una polaridad de polarización apropiada. Además, se puede usar una fuente de iones positivos adecuada para reemplazar la fuente de electrones 102 en el conjunto óptico de electrones 101, y, en tales realizaciones, el conjunto óptico de electrones se denomina conjunto o sistema óptico de partículas cargadas. El conjunto óptico de partículas cargadas 101 todavía puede contener lentes 220 para formar y acondicionar el haz de iones positivos, y uno o más deflectores electromagnéticos 240 para dirigir el haz de iones positivos, aunque teniendo en cuenta el hecho de que el haz está cargado positivamente en lugar de negativamente cargado y que las partículas cargadas tienen mayor masa. El electrodo

60

cilíndrico 250 también puede retenerse, aunque ahora estará polarizado con un potencial negativo para repeler los electrones neutralizadores.

5 Aunque la fuente de plasma 160 se describe en las realizaciones anteriores como posicionada dentro de la cámara de vacío, es posible, en las realizaciones de la presente invención, que la fuente de plasma 160 se coloque en una subcámara dentro de la cámara de vacío principal que comprende el lecho de polvo 123. La fuente de plasma 160 está conectada a la cámara de vacío principal a través de la abertura de plasma a través de la cual se permite que los iones salgan a la cámara principal.

10 En realizaciones alternativas de la invención, la fuente de plasma 160 se coloca fuera de la cámara de vacío, y se conecta a ella a través de un tubo de deriva. Tal configuración sería adecuada, por ejemplo, cuando la fuente de plasma sería una fuente de plasma excitada con RCE o RF.

15 Este espacio de deriva entre la cámara de vacío principal y la fuente de plasma 160 (él mismo a una presión de vacío similar a la presión de la cámara principal) es, en algunas realizaciones, un tubo conductor de electricidad que está aislado eléctricamente del cuerpo de la fuente de plasma y también de la cámara de vacío principal. Esto permitirá que el tubo de deriva se polarice a un potencial óptimo para el paso de iones a la cámara de vacío principal.

20 En algunas realizaciones, el tubo de deriva se puede adaptar para que sea un tubo de deriva de enfoque, comprendiendo un número (por ejemplo, dos o tres) de elementos polarizados independientemente electrostáticamente, o, alternativamente, un solo elemento polarizado electrostáticamente. Esto puede permitir un transporte más eficiente de los iones al lecho de polvo 123.

25 En el caso de tener la fuente de plasma 160 fuera del recipiente de vacío principal, se pueden obtener al menos dos mejoras adicionales. En primer lugar, la corriente de CC necesaria para calentar el filamento del cañón de inundación es significativa y se le ha asociado un campo magnético de CC. Si el campo magnético es lo suficientemente grande como para interferir con el haz de electrones, esto puede forzar un procedimiento de calibración del haz de electrones. Al colocar la fuente de plasma 160 fuera de la cámara de vacío principal, esta se puede alejar más del haz de electrones y, por lo tanto, la influencia que ejerce sobre el haz es menor.

30 Si la fuente de plasma 160 tiene un filamento de tungsteno calentado, este se quemará lentamente y, eventualmente, se romperá al final de su vida útil. Además, los átomos de tungsteno hierven continuamente desde la superficie del filamento. Al colocar la fuente de plasma 160 fuera de la cámara de vacío principal, se evitará que los contaminantes del filamento, tanto durante la operación como cuando se rompa, se mezclen con el lecho de polvo 123. Por el contrario, 35 es probable que tener la fuente de plasma dentro de la cámara de vacío aumente la corriente de descarga en el lecho de polvo 123 dando un mayor rendimiento de neutralización de carga.

40 Independiente de que la fuente de plasma 160 esté dentro o fuera de la cámara de vacío principal, sus suministros asociados (gas inerte, circuito de agua de refrigeración, conexiones eléctricas) son aislados del cuerpo principal de la cámara de vacío, que se considera que tiene un potencial de conexión eléctrica a tierra.

45 En algunas realizaciones, dentro de la cámara de vacío principal puede haber láminas metálicas aisladas eléctricamente que actúan como un escudo térmico, reflejando el calor irradiado del lecho de polvo 123 de vuelta al lecho de polvo 123. Se puede aplicar un potencial de polarización positivo a estos escudos térmicos para aumentar la corriente de iones hacia el lecho de polvo 123.

50 Del mismo modo, un medio de enfoque, como un cono, o una serie de elementos electrostáticos de enfoque (por ejemplo, un sistema de lentes electrostáticas de doble o triple cilindro), cada una polarizado a potenciales independientes, se puede colocar en la salida del tubo de deriva (para el caso cuando la fuente de plasma 160 es externa a la cámara principal) o en la abertura de salida del cañón de inundación para el caso cuando la fuente de inundación de plasma está dentro de la cámara principal. El componente de enfoque estimula a los iones a fluir hacia el lecho de polvo 123. La magnitud de los potenciales de polarización dependerá de la magnitud del potencial de polarización suministrado al cuerpo principal de la fuente de plasma 160 por su propio suministro de polarización.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de mitigación de carga en la fabricación de capas aditivas utilizando un haz de partículas cargadas (103) para fusionar polvo metálico dentro de un lecho de polvo metálico para formar un producto capa por capa, el procedimiento comprende:
- 5 usar un sistema óptico de haz de partículas cargadas (101) para formar un haz de partículas cargadas, para dirigir el haz de partículas cargadas para que incida sobre un lecho de polvo metálico y para escanear sobre el lecho de polvo para fusionar el polvo en una forma de capa deseada;
- 10 mientras se dirige el haz de partículas cargadas, utilizando una fuente de partículas neutralizadoras (160) para generar partículas neutralizadoras de una carga opuesta a las partículas cargadas en la vecindad del haz de partículas cargadas, de modo que las partículas neutralizadoras sean atraídas hacia las partículas de polvo cargadas en el lecho de polvo;
- 15 **caracterizado porque** comprende además dirigir el haz de partículas cargadas usando una señal de control a la que se le ha aplicado una corrección para compensar la perturbación del haz de partículas cargadas causada por la fuente de partículas neutralizadoras.
2. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende usar un electrodo (250) para establecer un potencial eléctrico aguas arriba de la fuente de partículas neutralizadoras que sea de la misma polaridad que las partículas neutralizadoras, evitando así que las partículas neutralizadoras pasen del electrodo al sistema óptico del haz de partículas cargadas.
- 20 El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la corrección se obtiene de una tabla de consulta que proporciona las correcciones requeridas para una posición del haz de partículas cargadas deseada dada en el lecho de polvo.
3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la corrección se obtiene de una tabla de consulta que proporciona las correcciones requeridas para una posición del haz de partículas cargadas deseada dada en el lecho de polvo.
4. El procedimiento de la reivindicación 3, que comprende además una etapa inicial de escaneo del haz de partículas cargadas a través de una serie de posiciones esperadas del haz de partículas cargadas en el lecho de polvo mientras está funcionando la fuente de partículas neutralizadoras; medir las posiciones reales correspondientes del haz de partículas cargadas en el lecho de polvo para cada una de las posiciones esperadas del haz de partículas cargadas; calcular una corrección para compensar la diferencia entre cada par de posiciones del haz de partículas cargadas esperadas y reales correspondientes; y almacenar las correcciones en una tabla de consulta.
- 30
5. Un aparato de fabricación de capas aditivas que comprende:
- 35 un conjunto óptico de partículas cargadas (101) que comprende una fuente de partículas cargadas (102), un aparato de formación de haces de partículas cargadas operable para formar un haz (103) a partir de las partículas cargadas proporcionadas por la fuente de partículas cargadas, y un aparato de dirección del haz de partículas cargadas operables para dirigir el haz de partículas cargadas formado por el aparato de formación del haz de partículas cargadas;
- 40 al menos una tolva (121) operable para dispensar polvo (122); una mesa (130) posicionada para recibir el polvo dispensado por la al menos una tolva en un volumen que define un lecho de polvo (123) para recibir el haz de partículas cargadas donde el aparato de dirección del haz de partículas cargadas es operable para escanear el haz de partículas cargadas sobre el lecho de polvo;
- 45 una cámara (140) a través de la cual pasa el haz de partículas cargadas antes de incidir en el lecho de polvo; una fuente de partículas neutralizadoras (160) operable para proporcionar partículas neutralizadoras de una carga opuesta a las partículas cargadas en la cámara en la vecindad del haz de partículas cargadas de tal manera que las partículas neutralizadoras sean atraídas hacia el haz de partículas cargadas y las partículas de polvo cargadas causadas por el haz de partículas cargadas; y
- 50 un controlador (110) adaptado para controlar la operación del conjunto óptico de partículas cargadas, donde el controlador es operable para proporcionar una señal de control al aparato de dirección del haz de partículas cargadas que hace que el aparato de dirección del haz de partículas cargadas escanee el haz de partículas cargadas sobre el lecho de polvo para fusionar el polvo en una forma de capa deseada,
- 55 **caracterizado porque** el controlador está adaptado para aplicar una corrección a la señal de control para compensar la perturbación del haz de partículas cargadas causado por la fuente de partículas neutralizadoras.
6. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 5, donde el haz de partículas cargadas (103) es un haz de electrones, y las partículas neutralizadoras son iones cargados positivamente de un gas inerte, donde los iones positivos pueden ser iones de Argón o Helio.
- 60

7. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 6, que comprende además escudos térmicos y placas de electrodos dentro de la cámara (140), que están aisladas eléctricamente y tienen un potencial de polarización aplicado para enfocar y restringir las partículas neutralizadoras.
- 5 8. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 7, donde la fuente de partículas neutralizadoras (160) está dispuesta fuera de la cámara (140) y acoplada a la cámara por un tubo de deriva.
9. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 8, donde el tubo de deriva comprende un medio de enfoque.
- 10 10. El aparato de fabricación de capas aditivas de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, donde la fuente de partículas neutralizadoras (160) es una fuente de plasma,
- 15 donde la fuente de partículas neutralizadoras puede ser una fuente de plasma de CC operable para generar campos magnéticos de CC para contener los iones positivos.
11. El aparato de fabricación de capas aditivas de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, donde la fuente de partículas neutralizadoras (160) es una fuente de iones RCE o RF.
- 20 12. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 5, donde el haz de partículas cargadas (103) es un haz de iones cargado positivamente y las partículas neutralizadoras son electrones.
13. El aparato de fabricación de capas aditivas de cualquiera de las reivindicaciones 5 a 12, que comprende además un electrodo (250) colocado en la trayectoria a lo largo de la cual viaja el haz de partículas cargadas entre el conjunto óptico de partículas cargadas (101) y la fuente de partículas neutralizadoras (160), dispuesto para repeler partículas neutralizadoras de migrar al conjunto de partículas cargadas.
- 25 14. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 13, donde el electrodo (250) está configurado para ser polarizado con la misma carga que las partículas neutralizadoras.
- 30 15. El aparato de fabricación de capas aditivas de la reivindicación 14, donde el electrodo (250) comprende una placa de metal con una abertura provista a través de la misma, posicionada de tal manera que el aparato de dirección del haz de partículas cargadas es operable para dirigir el haz de partículas cargadas para que pasen a través de la abertura.
- 35

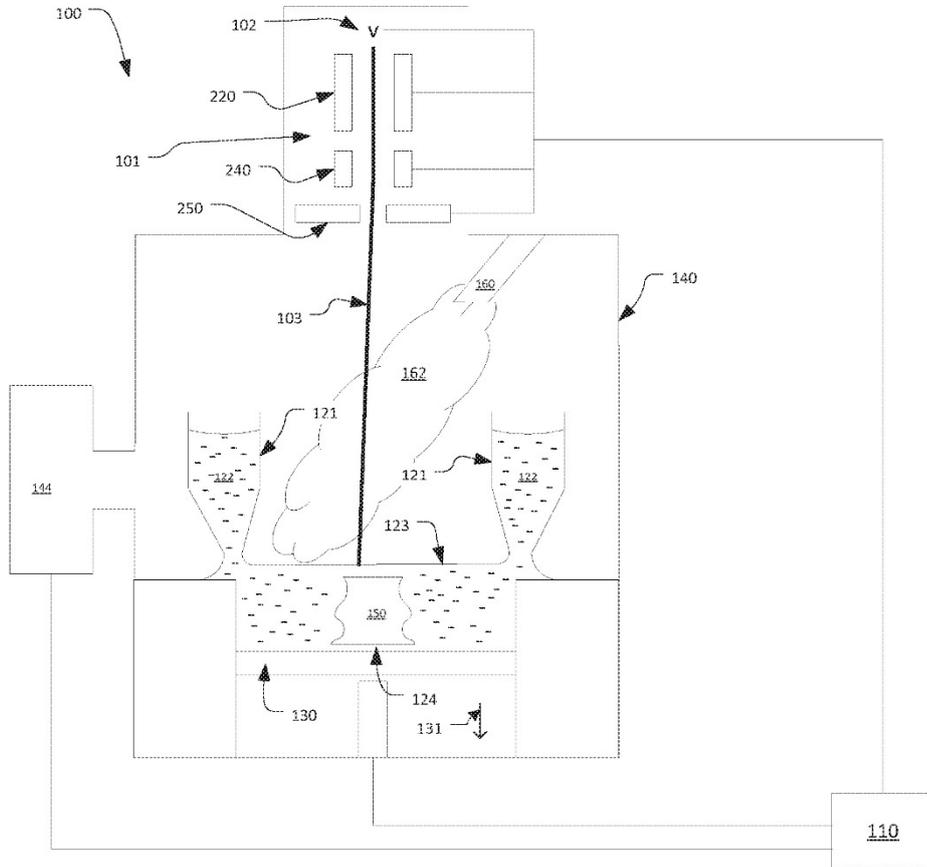
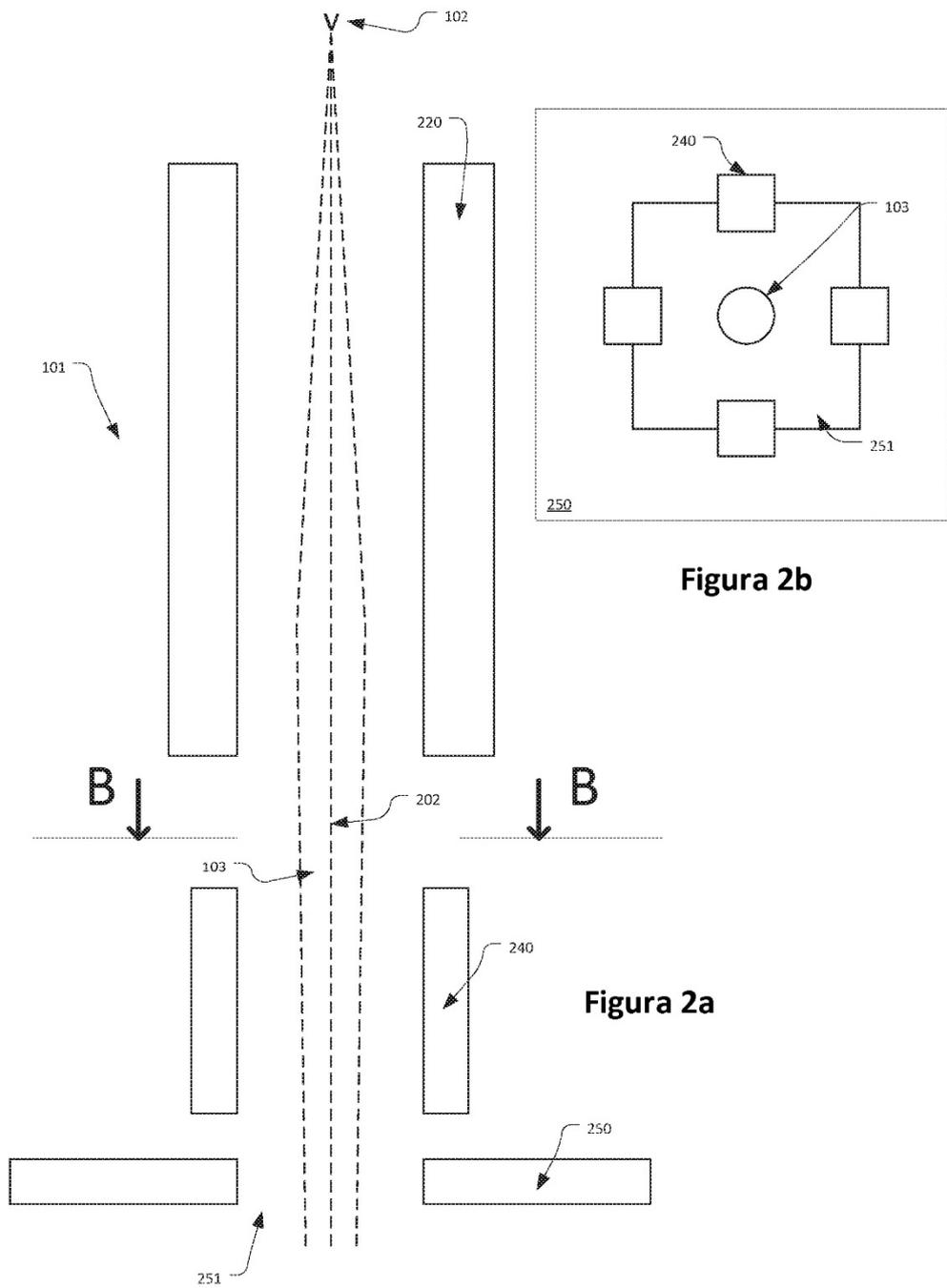
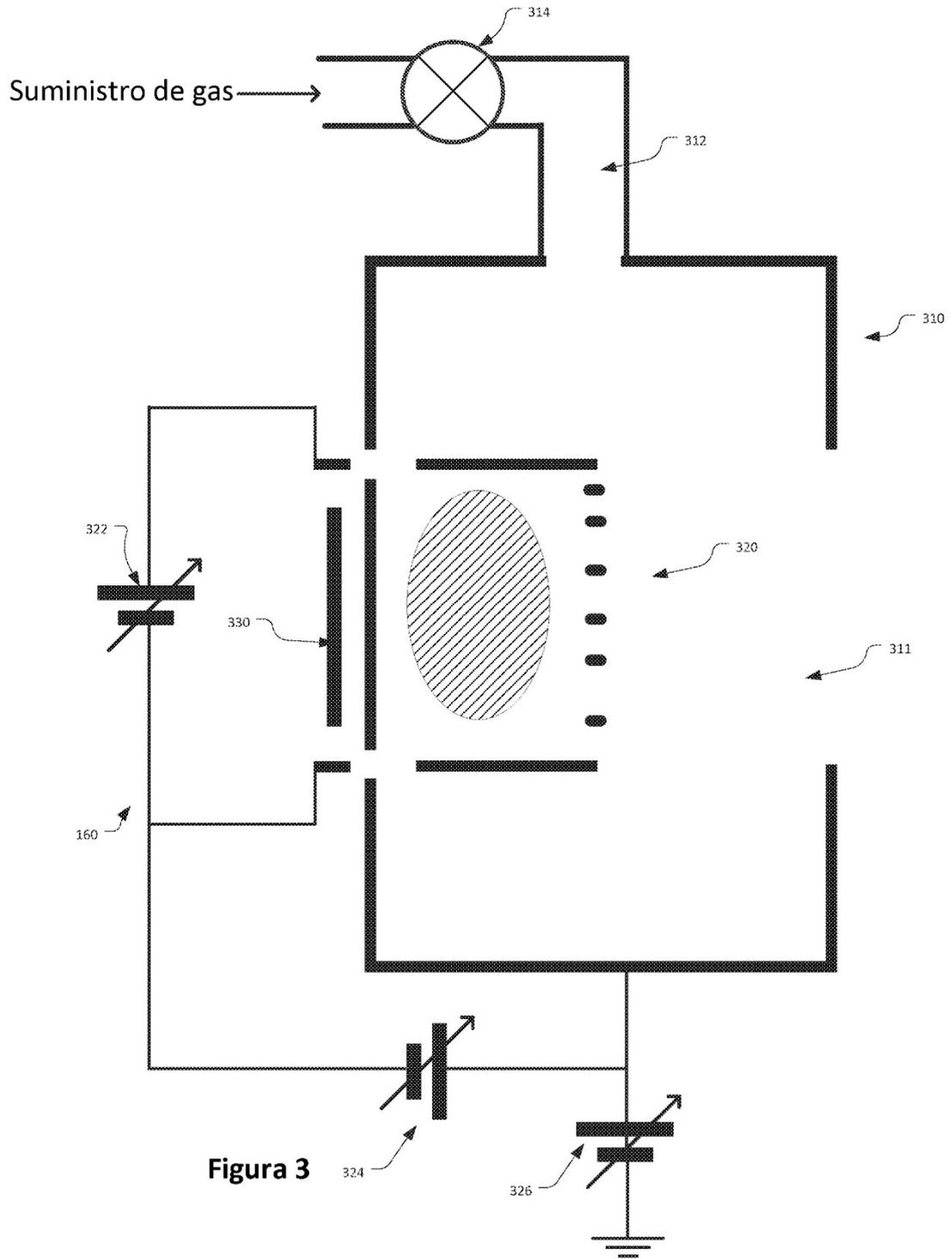


Figura 1





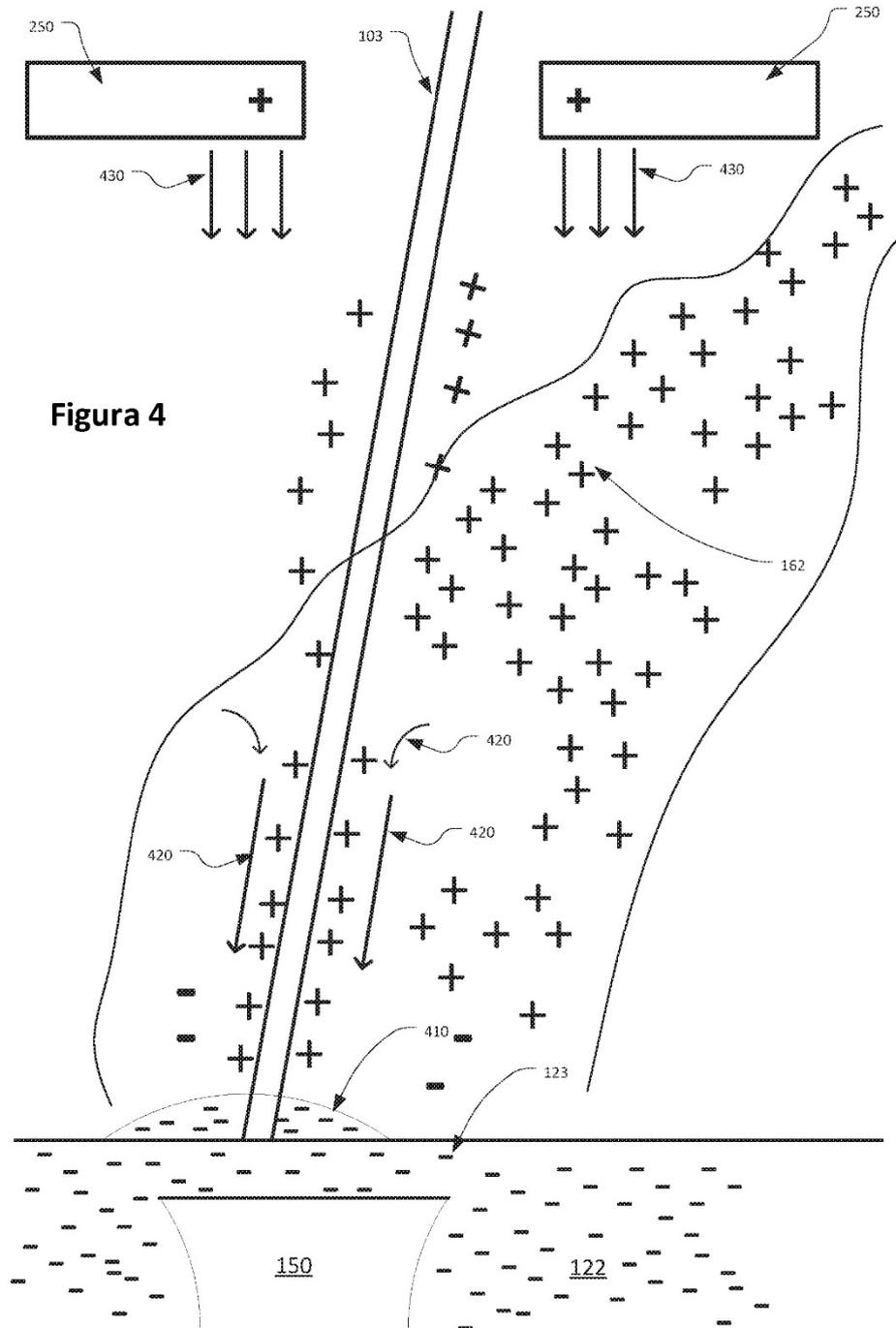


Figura 4

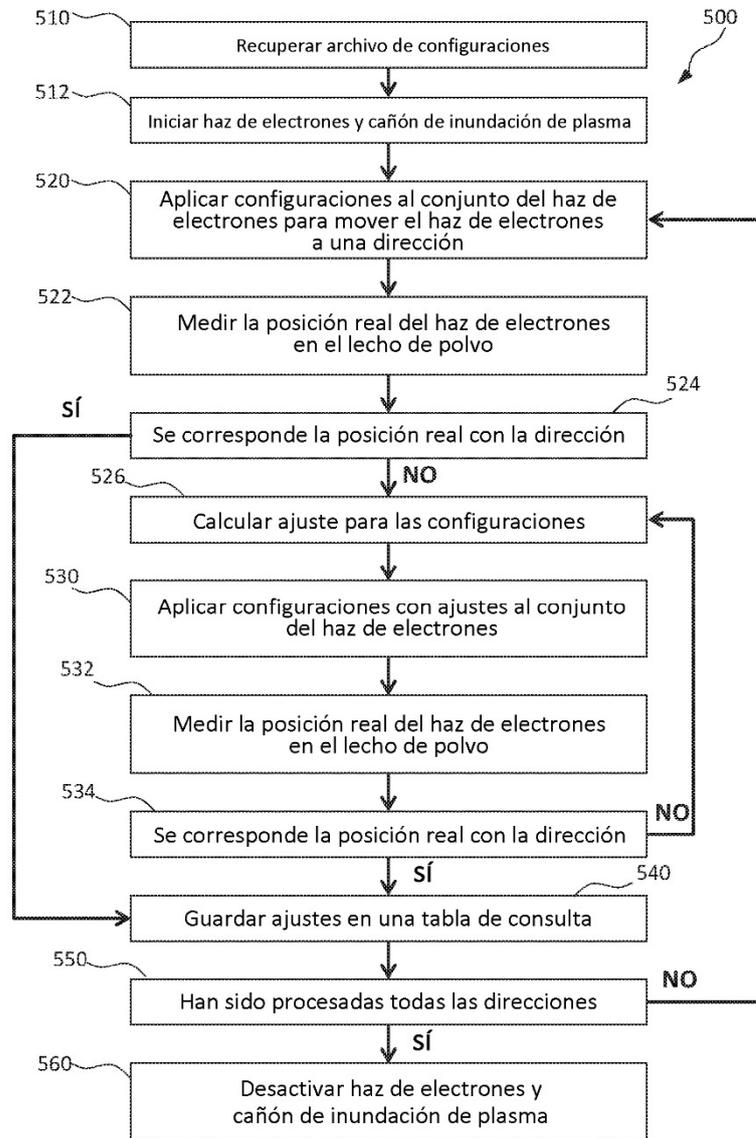


Figura 5

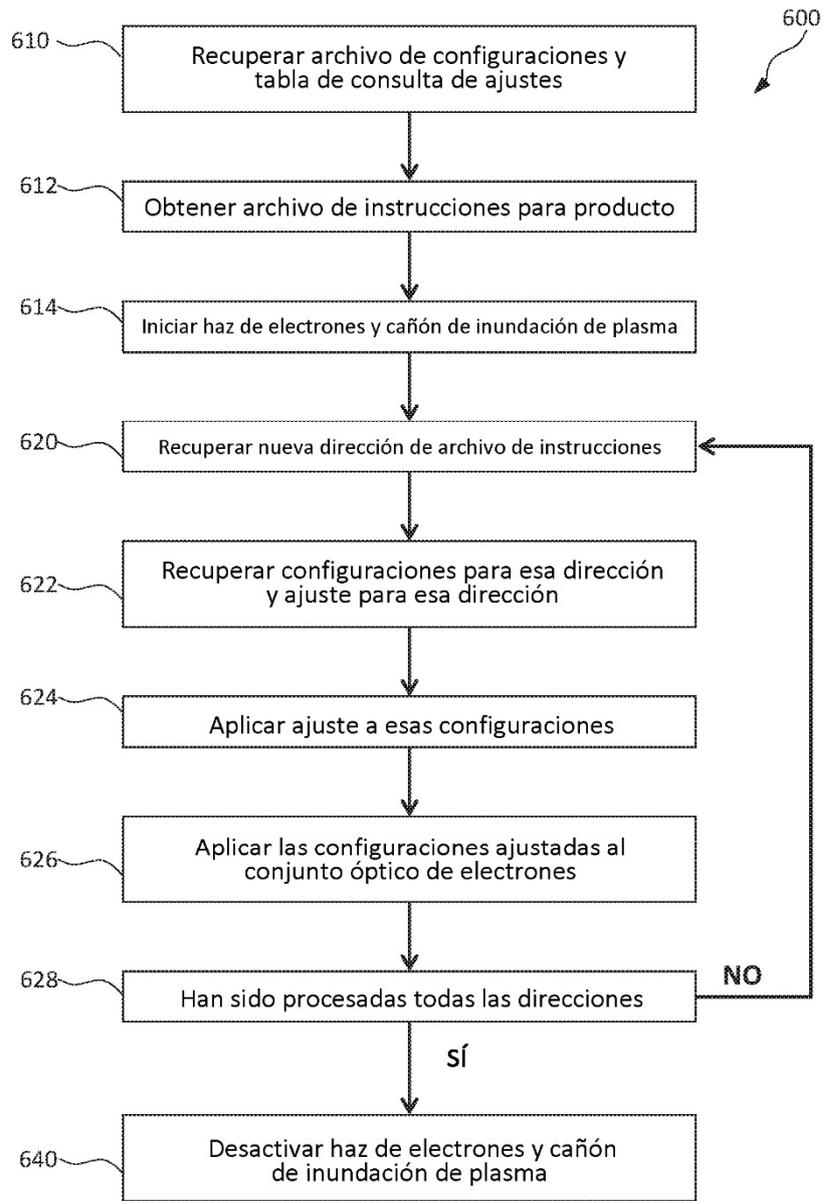


Figura 6