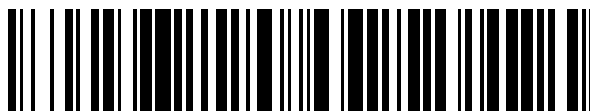


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 787 924**

51 Int. Cl.:

C23C 14/24 (2006.01)

H02K 44/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.05.2017 PCT/EP2017/060316**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.11.2017 WO17191082**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.05.2017 E 17720142 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 3452633**

54 Título: **Aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador**

30 Prioridad:

03.05.2016 EP 16168167

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

19.10.2020

73 Titular/es:

**TATA STEEL NEDERLAND TECHNOLOGY B.V.
(100.0%)
Wenckebachstraat 1
1951 JZ Velsen-Noord, NL**

72 Inventor/es:

**ZOESTBERGEN, EDZO;
COMMANDEUR, COLIN;
SNIJDERS, ROLAND, JAN;
BAKKER, EDUARD, PAUL, MATTHEUS;
HAZELETT, PETER, WILLIAM;
HAMILTON, DOUGLAS, ALEXANDER;
WIDDIS, STEPHEN, JAMES y
KAISER, TIMOTHY, DEAN**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 787 924 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

Aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío. Tal dispositivo se usa, por ejemplo, en la deposición de un recubrimiento metálico sobre un sustrato por medio de deposición física de vapor (PVD).

10

Antecedentes de la invención

Para procesos de recubrimiento PVD continuos o semicontinuos a escala industrial, se requiere una configuración de recubrimiento al vacío que pueda procesar grandes cantidades de material de recubrimiento a lo largo del tiempo. Además, cuando se usa la evaporación térmica, la temperatura del líquido en el dispositivo evaporador tiene que ser mucho más alta que el punto de fusión del material a evaporar. Por lo tanto, es deseable y rentable tener un pequeño dispositivo evaporador y suministrar material al dispositivo evaporador para satisfacer la demanda. La alimentación puede hacerse con material sólido o líquido. Sin embargo, la mejor manera es alimentar con metal líquido desde un gran depósito de líquido lo que tiene la ventaja de que el contenido de óxido en el evaporador se minimiza y que el calor latente de fusión y el calor específico del material no tienen que ser suministrados al dispositivo evaporador.

20

El dispositivo de recubrimiento PVD descrito en el documento US2664852 tiene un depósito para metal líquido en la cámara de vacío. Con esta configuración, la duración máxima de la campaña es bastante limitada. En dispositivos de recubrimiento PVD más recientes, el depósito de metal líquido se coloca fuera de la cámara de vacío, ver por ejemplo el documento WO2012081738. Sin embargo, debido a la diferencia de presión entre el vacío en el dispositivo evaporador y el depósito de metal líquido, se ejecuta una fuerza sobre el metal líquido en el depósito que debe controlarse. Esta fuerza cambiará cuando el nivel del líquido en el depósito baje, la presión de vacío en el dispositivo evaporador cambie o el nivel en el dispositivo evaporador cambie y necesite ser controlado para mantener un suministro constante al dispositivo evaporador para asegurar una evaporación constante.

25

30

El suministro de metal líquido desde el contenedor de metal líquido al dispositivo evaporador se puede controlar de diferentes maneras. En el documento US3059612 se describe que se levanta el contenedor con metal líquido para mantener constante la diferencia de altura entre la superficie del metal líquido en el dispositivo evaporador y el nivel en el contenedor de metal líquido. Sin embargo, un cambio en la presión barométrica ya dará lugar a un nivel diferente en el dispositivo evaporador y, como resultado, un cambio en la evaporación.

35

En el documento US3581766 se proporciona un depósito adicional entre el contenedor de metal líquido principal y el dispositivo evaporador. En este depósito intermedio, el nivel se mantiene constante por medio de un drenaje de desbordamiento a través del cual el líquido fluye fuera del depósito intermedio de regreso al contenedor de metal líquido principal. Sin embargo, el problema con una presión barométrica variable todavía existe y la pregunta de cómo iniciar o detener el sistema sin romper el vacío puede resultar difícil. Por lo tanto, primero se requiere una válvula entre el contenedor de metal líquido y el dispositivo evaporador, ver por ejemplo el documento WO2012081738. Se intenta usar una válvula de este tipo para controlar el flujo, pero esto no es práctico y no es posible vaciar el dispositivo evaporador al final de un experimento sin romper el vacío. Una mejor solución se describe en el documento WO2013143692 donde se utilizan tanto una válvula como una bomba para controlar el flujo.

40

45

Sin embargo, todavía hay otros problemas que no están cubiertos en las publicaciones antes mencionadas. Uno de los problemas con el depósito ubicado fuera de la cámara de vacío está relacionado con el hecho de que el tubo de alimentación tiene que pasar a través de la pared de la cámara de vacío. La alimentación pasante a través del tubo de alimentación debe poder acomodar la diferencia de expansión que ocurre durante el calentamiento de toda la configuración, pero debe ser tal que las condiciones de vacío en la cámara no se vean afectadas. Esto se puede hacer con una conexión de tipo fuelle, ver por ejemplo el documento GB1220020, pero es igualmente importante que esta configuración no genere un punto frío que pueda provocar la congelación de la masa fundida y, como tal, un bloqueo.

50

Otro requisito es que todos los tubos y la bomba electromagnética deben calentarse a la temperatura requerida y mantenerse a esa temperatura durante el funcionamiento. Más en particular, el calentamiento de la bomba electromagnética requiere una atención especial porque debido a la construcción de la bomba electromagnética pueden producirse fácilmente puntos fríos en la bomba. El documento WO2015067662 describe la provisión de medios de calentamiento para evitar puntos fríos.

55

60

Otro problema con la ubicación del depósito en el exterior es la posible contaminación del sistema de alimentación con óxidos del contenedor de líquido que podrían introducirse en el evaporador o el tubo y generar problemas con la evaporación o el bloqueo. En la patente JPS5938379 se describe un procedimiento de arranque que utiliza un gas reductor para eliminar los óxidos. Sin embargo, esto no funcionará para todo tipo de líquidos y el vacío se cambia durante este proceso.

65

Otro requisito adicional es que todos los tubos deben calentarse a la temperatura requerida y, además, como se indica en la patente US3408224 puede ser necesario desgasificar el material líquido antes de la deposición para asegurar que no se produzca esta desgasificación en el evaporador, lo que podría alterar el proceso de evaporación.

5 Finalmente el método descrito en el documento WO2015067662 permite drenar el evaporador sin romper el vacío, pero sin medidas adicionales no es posible vaciar todos los tubos del sistema.

Objetivos de la invención

10 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador con un calentamiento suficiente de la bomba electromagnética.

Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador con un calentamiento suficiente de los tubos del sistema.

15 Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador en donde las pérdidas de calor de la bomba electromagnética y los tubos del sistema están además limitadas.

20 Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador en donde las pérdidas de presión en la cámara de vacío debido a la alimentación pasante a través del tubo de alimentación se eviten tanto como sea posible.

25 Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador en donde las pérdidas de presión en el contenedor de metal líquido debido a la alimentación pasante a través del tubo de alimentación se eviten tanto como sea posible.

Otro objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un aparato para alimentar un metal líquido a un dispositivo evaporador que permita el vaciado del tubo de alimentación y la bomba electromagnética sin perder el vacío en la cámara de vacío.

30 Descripción de la invención

35 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, uno o más de los objetivos de la invención se logran al proporcionar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, el aparato comprende además un contenedor adaptado para contener un metal líquido, un tubo de alimentación del contenedor al dispositivo evaporador y una bomba electromagnética provista en el tubo de alimentación, en donde se proporciona un recinto de vacío que encierra la bomba electromagnética.

40 Con tal recinto de vacío, las pérdidas de calor de la bomba electromagnética se reducen porque la pérdida de calor como resultado de la convección de calor se reduce en gran medida.

45 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona que el recinto de vacío encierra al menos parte del tubo de alimentación. La al menos parte del tubo de alimentación se refiere al tubo de alimentación parcial o completo en la medida en que está fuera del contenedor cerrado adaptado para contener un metal líquido y la cámara de vacío.

Se proporciona preferentemente que el recinto de vacío se conecte a la cámara de vacío y/o al contenedor cerrado. Con esta configuración, toda la parte del tubo de alimentación está fuera del contenedor cerrado y la cámara de vacío está dentro del recinto de vacío.

50 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona que el recinto de vacío esté conectado a la cámara de vacío y/o al contenedor por medio de un miembro de conexión flexible. Con esta característica, se acomodará la expansión de cada uno o todos los contenedores cerrados, el recinto de vacío y la cámara de vacío.

55 Con la bomba electromagnética y el tubo de alimentación en el recinto de vacío, la pérdida de calor por convección se limita donde más cuenta, entre el contenedor cerrado y la cámara de vacío. De esta manera, se evitan los puntos fríos en la bomba electromagnética y el tubo de alimentación, evitando así la restricción del flujo de metal líquido y la obstrucción.

60 La presión en el recinto de vacío se mantiene en el intervalo de 1 mbar a la presión atmosférica, que es aproximadamente 1000 mbar. Con el inicio y al final de un ciclo de operación o campaña del aparato, es decir, con el llenado y vaciado del tubo de alimentación y la bomba electromagnética, respectivamente, la presión en el recinto de vacío es aproximadamente la presión atmosférica. Durante el funcionamiento, la presión en el recinto de vacío se mantiene preferentemente en el intervalo de 1 a 200 mbar. Al mantener la presión en el recinto de vacío en el intervalo de bajo vacío, la fuga de gas en la cámara de vacío es mucho menor que sin el recinto de vacío. Dicha pérdida de presión en la cámara de vacío ocurre en la alimentación pasante a través del tubo de alimentación hacia la cámara de vacío y está influenciada por las diferencias de expansión de los diferentes componentes de toda la configuración.

65

De acuerdo con otro aspecto de la invención, la bomba electromagnética está hecha al menos parcialmente de un material conductor de electricidad. Con esta característica, es posible aplicar calentamiento por resistencia a la bomba electromagnética. El material conductor de electricidad también debe ser adecuado para usarse para bombear metal líquido. Esto sería diferente si la bomba electromagnética está hecha de más de un material, lo que sin embargo no es muy práctico y generaría más problemas que las ventajas que tendría.

Una modalidad adecuada es en donde la bomba electromagnética está hecha al menos parcialmente de grafito. El grafito es un material conductor de electricidad y es capaz de soportar altas temperaturas y el ataque químico de metales líquidos, tales como el Zn y el Mg.

De acuerdo con una modalidad preferida de la invención, los electrodos de la bomba electromagnética se proporcionan contra la bomba. Con los electrodos contra el exterior del cuerpo de la bomba o en una porción hundida en el cuerpo de la bomba, la corriente necesaria para el control de la bomba electromagnética es conducida por una parte a través del cuerpo de la bomba electromagnética y por una parte a través del metal líquido. controlado con la bomba electromagnética.

La bomba electromagnética controla el flujo del metal líquido por la fuerza de Lorentz ejercida sobre el metal líquido que depende del campo magnético aplicado y la corriente a través del metal líquido. Para el calentamiento de la bomba electromagnética será necesario poder controlar la corriente independientemente del control del flujo del metal líquido. Esto podría hacerse al controlar el campo magnético aplicado o al controlar la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor o al controlar ambos. El control del campo magnético se realiza al controlar la distancia de los polos magnéticos al cuerpo de la bomba electromagnética o, en el caso de un electroimán de corriente continua o alterna, al controlar la corriente a través de la bobina del electroimán.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporcionan medios de control para controlar una fuerza sobre el metal líquido en el contenedor adaptado para contener un metal líquido. De acuerdo con otro aspecto, se proporciona que el contenedor adaptado para contener un metal líquido es un contenedor cerrado y en donde los medios de control controlan la presión de un gas en el contenedor cerrado. El término "contenedor cerrado" significará un contenedor en donde la presión y/o la composición del gas dentro del contenedor está controlada o puede controlarse.

Al variar la presión sobre el metal líquido en el contenedor cerrado, se varía la velocidad de flujo del metal líquido al dispositivo evaporador. Al variar la corriente a través de la bomba electromagnética, la fuerza ejercida sobre el metal líquido varía y con ello la velocidad de flujo. Si se debe ajustar la temperatura de la bomba electromagnética, se debe ajustar la corriente a través de la bomba electromagnética y para controlar la velocidad de flujo al mismo tiempo, es posible que se deba ajustar la presión sobre el metal líquido en el contenedor cerrado.

De acuerdo con una modalidad específica, la presión sobre el metal líquido en el contenedor cerrado se controla de manera que la fuerza ejercida sobre el metal líquido por la bomba electromagnética es una fuerza contra la dirección del flujo del metal líquido hacia el dispositivo evaporador. En este caso, el control de la velocidad de flujo por la bomba electromagnética está determinado por una fuerza contra la dirección del flujo hacia el dispositivo evaporador. La ventaja de esta configuración es que la temperatura aumenta automáticamente cuando se reduce la velocidad de flujo. A velocidades de flujo más altas, hay menos cambio que los puntos fríos generarán problemas con la congelación o el bloqueo.

De acuerdo un aspecto adicional de la invención, se proporcionan medios de control para controlar el campo magnético para la bomba electromagnética. Al variar el campo magnético, se varía la fuerza ejercida por la bomba electromagnética sobre el metal líquido.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, los medios de control controlan la distancia de los polos magnéticos con respecto a la bomba electromagnética y/o donde el campo magnético se proporciona por medio de un electroimán de corriente continua o alterna, controlan la corriente a través de la bobina del electroimán.

Además, se proporciona que el imán para aplicar un campo magnético para la bomba electromagnética se proporciona fuera del recinto de vacío. La ventaja es que el tamaño del recinto de vacío puede ser más pequeño, que no se necesita alimentación pasante en caso de un electroimán y que el imán permanece fuera de un espacio con una temperatura elevada que es particularmente relevante cuando se usan imanes permanentes. Además, cuando el campo magnético debe controlarse al controlar la distancia de los polos magnéticos a la bomba electromagnética, la construcción es menos complicada con el imán fuera del recinto de vacío.

Al proporcionar que el imán para aplicar un campo magnético para la bomba electromagnética comprenda un imán permanente, la construcción será más fácil.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una válvula en el tubo de alimentación entre la bomba electromagnética y el dispositivo evaporador. Con la válvula, el tubo de alimentación puede cerrarse después de que se haya drenado el tubo de alimentación, evitando así que la cámara de vacío pueda entrar en contacto con bajo vacío o presión atmosférica en el contenedor cerrado.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un tubo de retorno y una bomba electromagnética en el tubo de retorno, en donde el tubo de retorno corre desde el dispositivo evaporador hasta el contenedor adaptado para contener un metal líquido. Con un tubo de alimentación y un tubo de retorno, se puede controlar la composición del metal líquido en el dispositivo evaporador. El control de la composición significa que la composición permanece constante tanto como sea posible y no cambia debido a las diferentes velocidades de evaporación de los componentes.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, la bomba electromagnética en el tubo de alimentación y la bomba electromagnética en el tubo de retorno se colocan adyacentes entre sí y el campo magnético para ambas bombas electromagnéticas es suministrado por el mismo imán. De acuerdo con una modalidad alternativa, la bomba electromagnética en el tubo de alimentación y la bomba electromagnética en el tubo de retorno se colocan adyacentes entre sí y en donde la corriente para ambas bombas electromagnéticas es suministrada por la misma fuente de alimentación.

15 Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará adicionalmente por el ejemplo mostrado en el dibujo, en el que:

La Figura 1 muestra una vista esquemática de un aparato con un contenedor para un metal líquido, una bomba electromagnética en un recinto de vacío y una cámara de vacío,
 la Figura 2A,2B,2C muestra respectivamente una vista esquemática de una bomba electromagnética para un tubo de alimentación y una bomba electromagnética para un tubo de alimentación y un tubo de retorno,
 la Figura 3A,3B muestra esquemáticamente dos configuraciones para controlar la distancia de los polos magnéticos a la bomba electromagnética, y
 la Figura 4 muestra esquemáticamente un detalle del tubo de alimentación con medios de calentamiento.

25 Descripción detallada de los dibujos

La Figura 1 muestra una vista esquemática de un aparato con una cámara de vacío 1, en ambos lados provista de cierres de vacío 2,3, a través de los cuales se guía una tira 4. Un dispositivo evaporador 5 se coloca dentro de la cámara de vacío 1 y se conecta a un distribuidor de vapor 6. Los medios para suministrar suficiente energía al dispositivo evaporador, tales como una bobina de inducción, también se colocan dentro de la cámara de vacío. En aras de la claridad, estos medios no se muestran en el dibujo. La cámara de vacío está provista además de una bomba de vacío 7 y un manómetro 8.

En la parte inferior de la Figura 1, un contenedor cerrado 9 está provisto dentro del contenedor de un recipiente 10 para contener un metal líquido. El contenedor cerrado 9 está provisto además de una bomba 11, un manómetro 12 y un relé de sobrepresión 13. El recipiente está provisto de medios de calentamiento (no mostrados) para calentar y fundir el metal y/o mantener el metal líquido a una cierta temperatura. Un suministro de gas 31 con una válvula 32 está conectado al contenedor cerrado 9 para reemplazar el aire inicialmente presente en el contenedor 9 con un gas no oxidante, por ejemplo, N₂. Se proporcionan medios de elevación 14 para elevar y bajar el recipiente 10 para poder sumergir el extremo del tubo de alimentación 15 en el metal líquido o sacarlo del metal líquido. Los medios de elevación 14 también pueden usarse en el control de la velocidad de flujo del metal líquido hacia el dispositivo evaporador 5, ya que con la elevación y el descenso, la distancia entre el nivel del líquido en el recipiente y el del dispositivo de evaporación cambia.

El recipiente 10 se coloca en dispositivos de pesaje 35 que permiten pesar continuamente el contenido del recipiente 10 lo que proporciona información adicional sobre la velocidad de flujo del metal líquido y la velocidad de evaporación.

La bomba 11 se usa para disminuir la presión en el contenedor cerrado. Para evitar la oxidación del metal líquido en el recipiente, el aire en el contenedor cerrado puede eliminarse y reemplazarse total o parcialmente con un gas inerte. Con esta operación, primero se elimina parcialmente el aire, disminuyendo la presión antes de ser reemplazado por un gas inerte, después de lo cual la presión en el contenedor cerrado se ajusta y controla para controlar la velocidad de flujo del metal líquido al dispositivo evaporador.

El tubo de alimentación 15 se extiende desde el recipiente 10 dentro del contenedor cerrado 9 en dirección ascendente hasta el dispositivo evaporador 5 y en el tubo de alimentación se proporcionan una bomba electromagnética 16 y una válvula 17. La bomba electromagnética 16 y la válvula 17 se colocan dentro de un recinto de vacío 18. El recinto de vacío 18 se mantiene a bajo vacío durante la operación, lo que evita en gran medida las pérdidas de calor por convección desde la bomba electromagnética 16, así como desde el tubo de alimentación 15. Para ese fin, el recinto de vacío 18 está provisto de una bomba de vacío 34 y un manómetro 35 o una colocación de estos.

El recinto de vacío 18 se conecta al contenedor cerrado 9 y la cámara de vacío 1 por medio de los fuelles 19, 20. La conexión por medio de los fuelles 19, 20 es al exterior del contenedor cerrado 9 y a la cámara de vacío 1 y no conecta los espacios internos del contenedor 9 y la cámara de vacío 1. Sin embargo, la inevitable fuga de vacío en la alimentación pasante del tubo de alimentación 15 hacia la cámara de vacío 1 es mucho menor debido al bajo vacío en el recinto de vacío 18.

65

5 La bomba 16 de la bomba electromagnética está provista de un imán permanente 21 para generar un campo magnético y una fuente de alimentación para hacer pasar una corriente a través del metal líquido en la bomba electromagnética. La fuerza de Lorentz resultante del campo magnético y la corriente ejercerá una fuerza sobre el metal líquido que se usa en el control de la velocidad de flujo del metal líquido. La fuerza de Lorentz solo funciona mientras el metal líquido esté en contacto con los electrodos 22 de la bomba electromagnética y dentro del campo magnético del imán permanente 21. Como resultado, cuando el metal líquido se fuerza hacia abajo, el nivel del metal líquido no puede ser inferior a un nivel aproximadamente a la altura de los electrodos.

10 Es importante que el imán 21 no se sobrecaliente porque esto dará como resultado una disminución de la intensidad del campo magnético. Por esa razón, el imán 21 se coloca fuera del recinto de vacío 18, que al menos en la ubicación del imán y su campo magnético está hecho de un material no ferromagnético.

La fuerza hacia arriba sobre el metal líquido viene dada por la diferencia de presión y la altura de la columna:

15 $P3 - P1 - (X - Y) * \text{líquido de densidad,}$

en donde

P3 = presión en el contenedor cerrado,

P1 = presión en la cámara de vacío,

20 X = altura del nivel superior del metal líquido, que puede estar en el dispositivo evaporador o en algún lugar del tubo de alimentación, y

Y = nivel de altura del metal líquido en el recipiente en el contenedor cerrado.

25 Una vez que la evaporación del metal líquido en el dispositivo evaporador ha comenzado, la fuerza impulsora del metal líquido es:

$P3 - P4 - (X - Y) * \text{líquido de densidad,}$

en donde

30 P4 es la presión en el distribuidor de vapor 6 que será más alta que la presión en la cámara de vacío.

Cuando la bomba electromagnética ejerce una fuerza contra el flujo ascendente del metal líquido, la fuerza viene dada por:

35 $P3 - P1 - (X - Y) * \text{líquido de densidad} - B * I * C,$

en donde:

B es un campo magnético, I la corriente a través del metal líquido y C una constante. Una vez que la evaporación ha comenzado, la ecuación cambia a:

40 $P3 - P4 - (X - Y) * \text{líquido de densidad} - B * I * C,$

45 Si se debe aumentar el calentamiento de la bomba electromagnética, se aumenta P3, lo que requerirá una mayor fuerza de Lorentz contra el flujo ascendente para mantener constante el flujo ascendente. La mayor fuerza de Lorentz se realiza para aumentar la corriente a través de la bomba electromagnética y del metal líquido, lo que proporcionará un calentamiento de resistencia adicional.

50 La Figura 2A muestra una vista esquemática de una bomba electromagnética 16 para un tubo de alimentación 15 con los electrodos 22 en lados opuestos contra el cuerpo de la bomba electromagnética 16. Los electrodos 22 están conectados a una fuente de alimentación 23, en este caso una fuente de alimentación de CC variable.

55 Perpendiculares a los electrodos 22 están los polos del imán 21, que en esta configuración son dos imanes permanentes conectados por medio de una horquilla (no mostrada). En lugar de imanes permanentes, también es posible usar un electroimán, por ejemplo, un electroimán con una bobina de CC. Al variar la corriente a través de la bobina, se puede variar el campo magnético.

En lugar de una fuente de alimentación de CC variable y una bobina de CC, también es posible utilizar una fuente de alimentación de CA variable y una bobina de CA para el electroimán.

60 La Figura 2B muestra una configuración con un tubo de alimentación 15 y un tubo de retorno 24 uno al lado del otro con bombas electromagnéticas 18, 25 para el tubo de alimentación 15 y el tubo de retorno 24 respectivamente. El campo magnético tanto para el tubo de alimentación 15 como para el tubo de retorno 24 está provisto de los mismos imanes permanentes 21. Se proporcionan fuentes de alimentación de CC variables separadas 23, 26 para el tubo de alimentación 15 y el tubo de retorno 24, que están conectados inversamente a los electrodos, ya que las fuerzas de Lorentz deben estar en dirección opuesta. El tubo de alimentación 15 y el tubo de retorno 24 están en contacto térmico entre sí, pero están aislados eléctricamente entre sí. La velocidad de flujo en el tubo de retorno diferirá en la velocidad de evaporación

de la velocidad de flujo en el tubo de alimentación y por esa razón la corriente a través del tubo de retorno 24 será mayor que a través del tubo de alimentación 15.

5 La Figura 2C muestra una configuración en donde los electrodos 22 del tubo de alimentación 15 y el tubo de alimentación 24 están conectados en serie, lo que solo requiere una fuente de alimentación 23 y en donde la misma corriente pasa a través de ambos tubos de alimentación. Para controlar la velocidad de flujo en cada tubo, el campo magnético del imán 21, 36 en cada tubo 15, 24 se controla por separado.

10 Las Figuras 3A, 3B muestran esquemáticamente dos configuraciones para controlar la intensidad del campo magnético de los imanes permanentes al acortar el flujo o al cambiar la distancia de los polos magnéticos a la bomba electromagnética. En la configuración de acuerdo con la Figura 3A, el flujo entre los polos del imán 21 puede cambiarse acortando el flujo magnético a través de una segunda pata 38. El flujo es variable al cambiar la distancia entre los polos de esta segunda pata. Para este fin, la pata 38 de la horquilla está diseñada para permitir tal desplazamiento lineal.

15 En la configuración de acuerdo con la Figura 3B, la intensidad magnética varía al variar la distancia entre los polos del imán 21. Esto se puede variar mediante una rotación o desplazamiento lineal. En la Figura 3B se representa un desplazamiento rotacional donde la horquilla 37 está provista de un punto de pivote 39 y un dispositivo de husillo 40 para una rotación controlada y con ello un cambio controlado de la distancia entre los polos del imán 21.

20 La Figura 4 muestra esquemáticamente un segmento de un tubo de alimentación 15 con un canal 27 y dos modalidades de calentamiento diferentes. Un primer método de calentamiento es calentar el tubo de alimentación mediante calentamiento por resistencia con una fuente de energía 28 en donde el material del tubo de alimentación sirve como resistencia. El segundo método de calentamiento es con un calentador de cubierta 29 con una fuente de alimentación 30, en donde el calentador se proporciona en un agujero o una porción hundida en el tubo de alimentación 15. Las fuentes
25 de alimentación 28, 30 podrían ser fuentes de alimentación de CC o CA. De hecho, esto también es calentamiento por resistencia en donde la resistencia está encerrada en una cubierta y aislada eléctricamente del tubo de alimentación. Todos los tubos deben calentarse a una temperatura superior al punto de fusión del metal líquido para el cual, en general, será suficiente una temperatura de 40 °C por encima de la temperatura de fusión.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador (5) en una cámara de vacío (1), el aparato comprende además un contenedor (9) adaptado para contener un metal líquido, un tubo de alimentación (15) del contenedor (9) al dispositivo evaporador (5) y una bomba electromagnética (16) provista en el tubo de alimentación (15), caracterizado porque se proporciona un recinto de vacío (18) que encierra la bomba electromagnética (16).
- 10 2. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el recinto de vacío (18) encierra al menos parte del tubo de alimentación (15).
- 15 3. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el recinto de vacío (18) se conecta a la cámara de vacío (1) y/o al contenedor (9).
- 20 4. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el recinto de vacío (18) está conectado a la cámara de vacío (1) y/o al contenedor (9) adaptado para contener un metal líquido por medio de un miembro de conexión flexible (19, 20)
- 25 5. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la bomba electromagnética (16) está hecha al menos parcialmente de un material conductor de electricidad.
- 30 6. Aparato de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la bomba electromagnética (16) está hecha al menos parcialmente de grafito.
- 35 7. Aparato de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en donde los electrodos (22) de la bomba electromagnética (16) se proporcionan contra la bomba (16).
- 40 8. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporcionan medios de control (11, 12, 13) para controlar una fuerza sobre el metal líquido en el contenedor (9) adaptado para contener un metal líquido.
- 45 9. Aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el contenedor (9) adaptado para contener un metal líquido es un contenedor cerrado (9) y en donde los medios de control (11, 12, 13) controlan la presión de un gas en el contenedor cerrado (9) .
- 50 10. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporcionan medios de control (21, 23, 26, 38) para controlar el campo magnético para la bomba electromagnética (16).
- 55 11. Aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en donde los medios de control (38) controlan la distancia de los polos magnéticos con respecto a la bomba electromagnética (16) y/o donde se proporciona el campo magnético por medio de un electroimán de corriente continua o alterna, controlan la corriente a través de la bobina del electroimán.
- 60 12. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el imán (21) se proporciona fuera del recinto de vacío.
13. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el imán (21) para aplicar un campo magnético para la bomba electromagnética (16) comprende un imán permanente (21).
14. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporciona una válvula (17) en el tubo de alimentación (15) entre la bomba electromagnética (16) y el dispositivo evaporador (5).
15. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporciona un tubo de retorno (24) y una bomba electromagnética (25) en el tubo de retorno (24), en donde el tubo de retorno (24) corre del dispositivo evaporador (5) al contenedor (9).
16. Aparato de acuerdo con la reivindicación 15, en donde la bomba electromagnética (16) en el tubo de alimentación (15) y la bomba electromagnética (25) en el tubo de retorno (24) se colocan adyacentes entre sí y en donde el campo magnético para ambas bombas electromagnéticas (16,25) es suministrado por el mismo imán (21).
17. Aparato de acuerdo con la reivindicación 15, en donde la bomba electromagnética (16) en el tubo de alimentación (15) y la bomba electromagnética (25) en el tubo de retorno (24) se colocan adyacentes entre sí y en donde la corriente para ambas bombas electromagnéticas (16, 25) es suministrada por la misma fuente de alimentación (23).

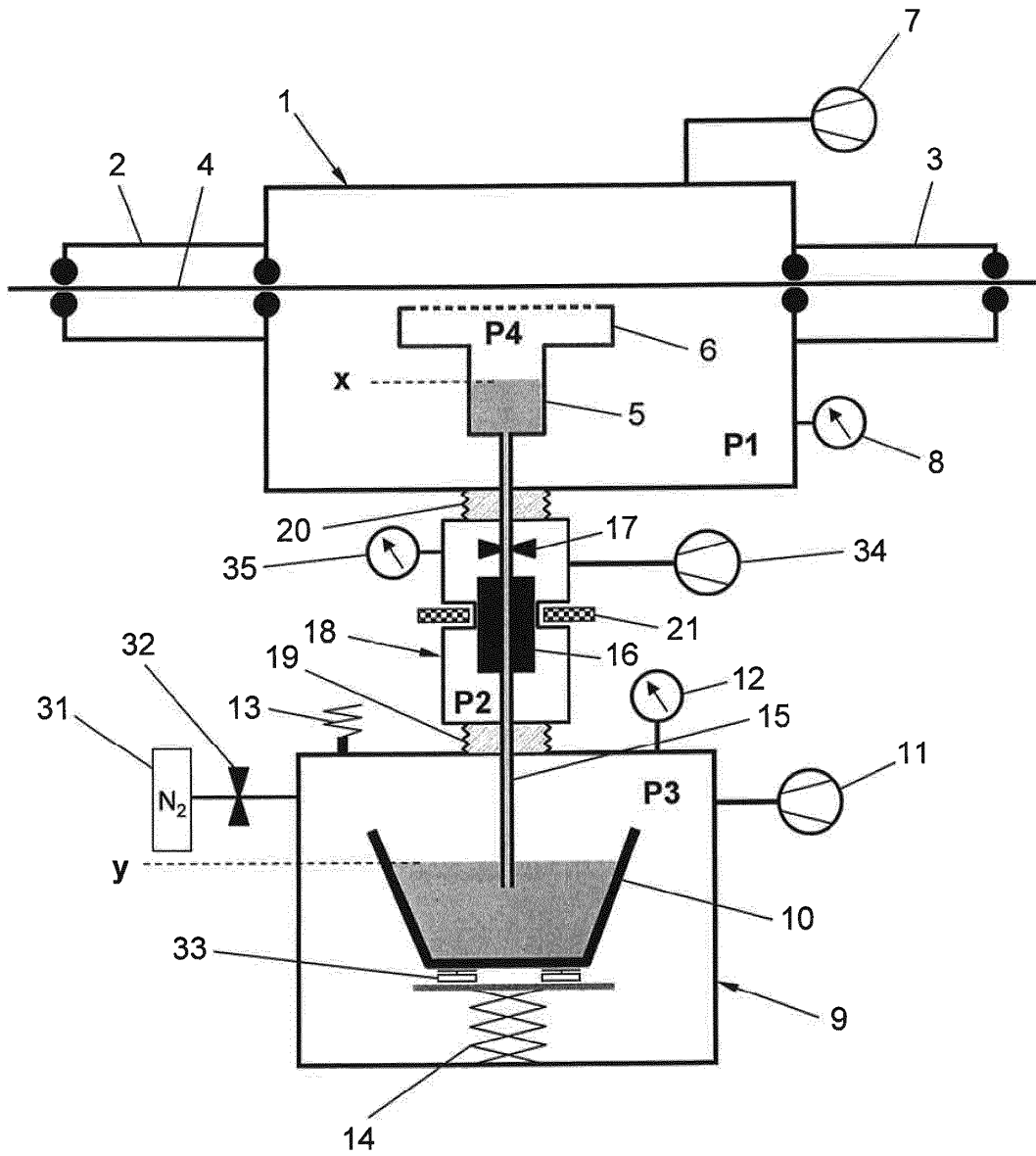


Fig. 1

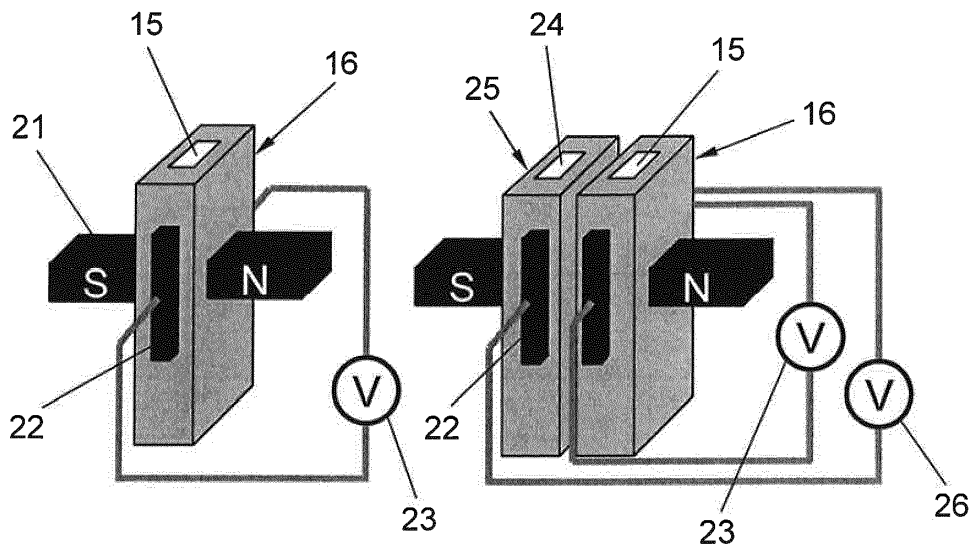


Fig. 2A

Fig. 2B

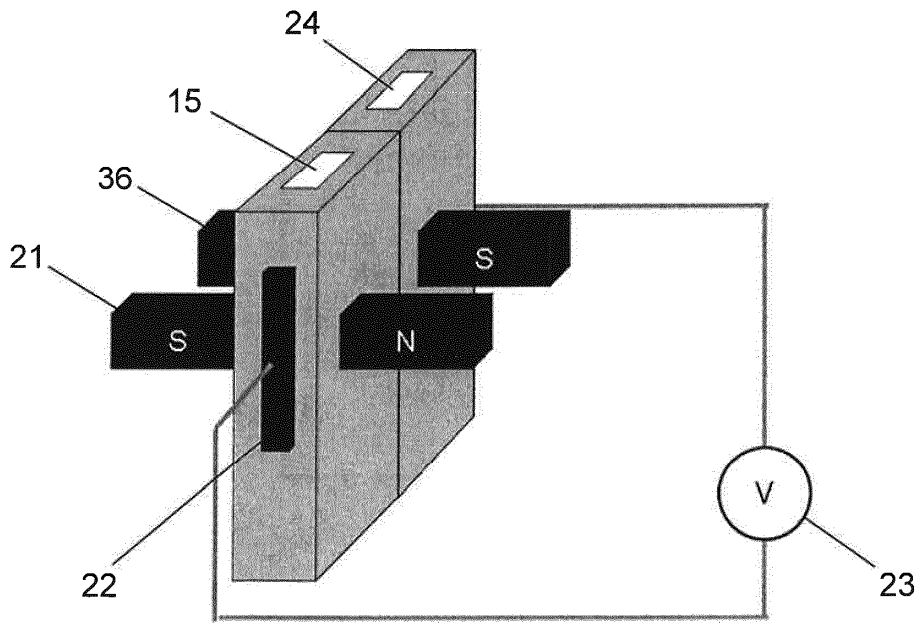


Fig. 2C

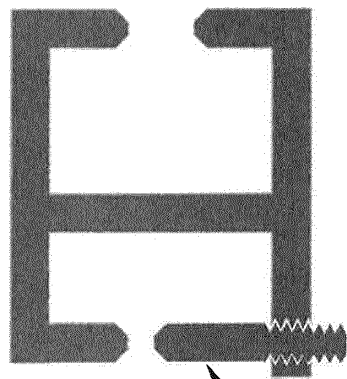


Fig. 3A

38

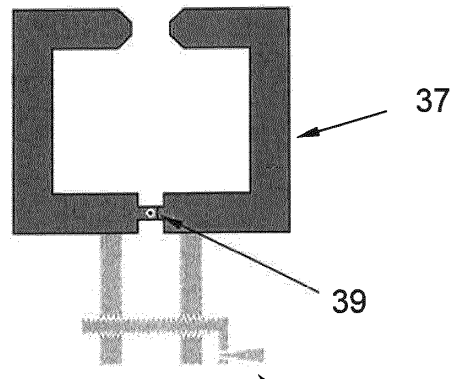


Fig. 3B

37

39

40

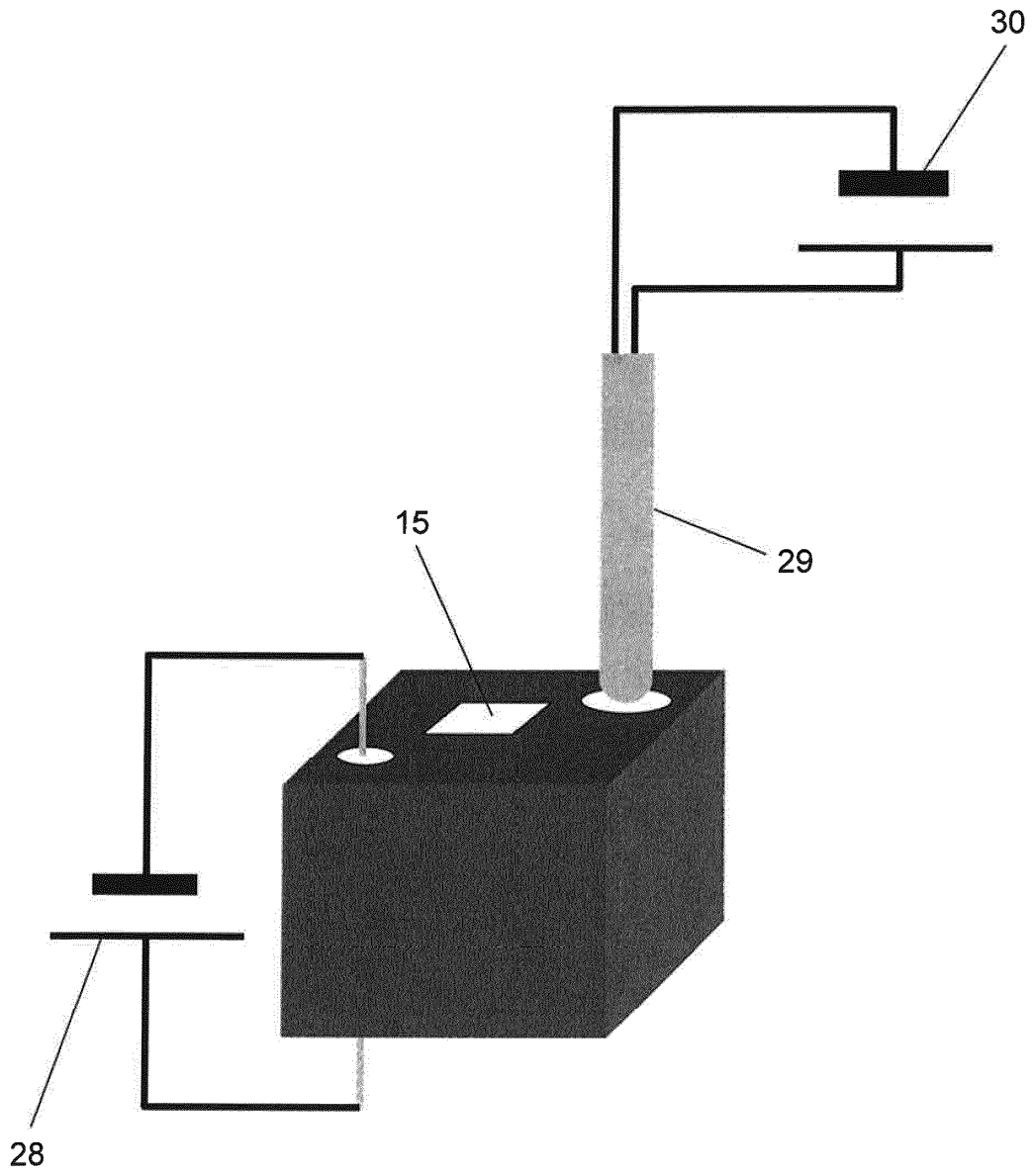


Fig. 4