

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 975**

51 Int. Cl.:

H02K 44/04 (2006.01)

H02K 44/02 (2006.01)

C23C 14/24 (2006.01)

C23C 14/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.05.2017 PCT/EP2017/060317**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.11.2017 WO17191083**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.05.2017 E 17721357 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 3452631**

54 Título: **Método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador**

30 Prioridad:

03.05.2016 EP 16168162

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

14.10.2020

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 2 786 975 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador

Campo de la invención

5 La invención se relaciona con un método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío. Tal dispositivo se usa por ejemplo para depositar un recubrimiento metálico sobre un sustrato por medio de deposición física de vapor (PVD).

Antecedentes de la invención

10 Para procesos de recubrimiento por PVD continuos o semicontinuos en una escala industrial se requiere una configuración de recubrimiento al vacío que pueda procesar grandes cantidades de material de recubrimiento con el tiempo. Adicionalmente, 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 que va a ser evaporado. Por tanto, es deseable y rentable tener un pequeño dispositivo evaporador y suministrar material al dispositivo evaporador para satisfacer la demanda. La alimentación puede hacerse ya sea con material sólido o líquido. Sin embargo, la mejor forma es alimentar con metal líquido desde un gran depósito de líquido el cual tiene la ventaja de que el contenido de óxido en el evaporador es minimizado y que el calor latente de fusión y el calor específico del material no tienen que ser suministrados en el dispositivo evaporador.

20 El dispositivo de recubrimiento por PVD divulgado en el documento US2664852 tiene un depósito para metal líquido en la cámara de vacío. Con esta configuración la duración máxima de periodo de trabajo es bastante limitada. En dispositivos de recubrimiento por PVD más recientes el depósito de metal líquido se coloca fuera de la cámara de vacío, véase 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 necesita ser controlada. Esta fuerza cambiará cuando el nivel de líquido en el depósito caiga, 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 El suministro de metal líquido desde el contenedor de metal líquido al dispositivo evaporador se puede controlar de diferentes formas. En el documento US3059612 se divulga elevar el contenedor con metal líquido con el fin de mantener constante la diferencia de altura entre la superficie de 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.

30 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 por rebose a través del cual el líquido fluye fuera del depósito intermedio de vuelta 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 tanto, en primer lugar se requiere una válvula entre el contenedor de metal líquido y el dispositivo evaporador, véase por ejemplo el documento WO2012081738. Se intenta usar una válvula tal para controlar el flujo pero esto es poco práctico y no es posible vaciar el dispositivo evaporador al final de un experimento sin romper el vacío. Se divulga una mejor solución en el documento WO2013143692 donde son usadas tanto una válvula como una bomba para controlar el flujo.

40 Sin embargo, todavía hay otros problemas que no están cubiertos en las solicitudes mencionadas anteriormente. Uno de los problemas con el depósito que está 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 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 de tal manera que las condiciones de vacío en la cámara no sean afectadas. Esto se puede hacer con un tipo de fuelle de conexión, véase por ejemplo el documento GB1220020, pero es igual de importante que esta configuración no genere un punto frío que pueda dar como resultado la congelación de la masa fundida y como tal un bloqueo.

50 Otro requisito es que toda la tubería y la bomba electromagnética deben calentarse a la temperatura requerida y mantenerse a esa temperatura durante la operación. Más en particular el calentamiento de la bomba electromagnética requiere una atención especial puesto que debido a la construcción de la bomba electromagnética pueden ocurrir fácilmente puntos fríos en la bomba.

Otro problema con el depósito que está ubicado por fuera es posible contaminación del sistema de alimentación con óxidos del contenedor de líquido que podría introducirse en el evaporador o la tubería y generar problemas con la evaporación o bloqueo. En la patente JPS5938379 se describe un procedimiento de arranque que usa un gas reductor para eliminar los óxidos. Sin embargo esto no funcionará para todos los tipos de líquidos y el vacío es cambiado durante este proceso.

Aún otro requisito es que toda la tubería debe ser calentada a la temperatura requerida y adicionalmente como se indica en la patente US3408224 podría ser necesario desgasificar el material líquido antes de la deposición para asegurar que esta desgasificación no esté ocurriendo en el evaporador lo cual podría perturbar el proceso de evaporación.

- 5 Finalmente, el método divulgado en el documento WO2015067662 hace posible drenar el evaporador sin romper el vacío pero sin medidas adicionales no es posible vaciar toda la tubería en el sistema. Los documentos de patente US 4392786 y CN 204805055 U divulgan bombas electromagnéticas para metal líquido.

Objetivos de la invención

- 10 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío sin que el vacío en la cámara de vacío sea afectado durante la operación.

Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío sin que el vacío en la cámara de vacío sea afectado durante el llenado del dispositivo evaporador.

- 15 Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío sin que el vacío en la cámara de vacío sea afectado durante el drenaje del dispositivo evaporador y el tubo de alimentación conectado al dispositivo evaporador.

- 20 Es todavía otro objetivo de la presente invención proporcionar un método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío sin que sea afectado el vacío en la cámara de vacío que se puede operar de manera directa.

Descripción de la invención

- 25 De acuerdo con un primer aspecto de la invención uno o más de los objetivos de la invención se alcanzan proporcionando un método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, en donde el tubo de alimentación recorre desde un contenedor adaptado para contener un metal líquido al dispositivo evaporador y en donde se proporciona una bomba electromagnética en el tubo de alimentación y una válvula en el tubo de alimentación entre la bomba electromagnética y el dispositivo evaporador, caracterizado porque el método comprende:

- proporcionar una bomba electromagnética la cual es al menos parcialmente permeable al gas,
- encerrar la bomba electromagnética en un recinto de presión controlada,
- 30 - bajar la presión y/o mantener un vacío en el recinto de presión controlada antes y/o cuando se llena la bomba electromagnética con metal líquido,
- mantener un vacío en el recinto de presión controlada durante la operación, y
- aumentar la presión y/o mantener una presión aumentada en el recinto de presión controlada antes y/o cuando se drena el metal líquido de la bomba electromagnética.

- 35 Con la alimentación de un metal líquido desde un contenedor fuera de una cámara de vacío a través de un tubo de alimentación a un dispositivo evaporador es muy probable que el vacío en la cámara de vacío será afectado. En particular esto es más probable al inicio y al final de un proceso de evaporación, tal como un proceso por PVD. Al inicio del proceso una válvula en el tubo de alimentación evitará que haya una conexión directa entre la cámara de vacío y el entorno exterior. Sin embargo, cuando el metal líquido es alimentado desde el contenedor a través del tubo de alimentación al dispositivo evaporador, la válvula en el tubo de alimentación debe ser abierta y el aire o gas todavía presente en el tubo de alimentación corriente abajo de la válvula será arrastrado hacia la cámara de vacío. Con aire o gas entrando en la cámara de vacío la presión de vacío en la cámara de vacío será afectada y tendrá que ser reducida de nuevo a una presión de vacío predeterminada lo cual costará tiempo y energía. Otro problema es que con el aire exterior pueden ingresar contaminaciones a la cámara de vacío.

- 45 El método de acuerdo con la invención tiene la ventaja de que al usar una bomba electromagnética permeable al gas el tubo de alimentación puede ser llenado con metal líquido, mientras que expulsa la mayoría del aire o gas presente en el tubo de alimentación, antes de que sea abierta la válvula.

- 50 En un orden inverso el dispositivo evaporador se puede vaciar en una primera etapa hasta que el metal líquido esté por debajo de la válvula en el tubo de alimentación, después de lo cual la válvula es cerrada y el tubo de alimentación se puede vaciar completamente haciendo que ingrese aire o gas al tubo de alimentación a través de la bomba electromagnética permeable al gas.

Un prerrequisito para el uso de una bomba electromagnética permeable al gas como se describe es tener la bomba electromagnética permeable al gas encerrada en un recinto de presión controlada. Sin un recinto tal el aire sería arrastrado hacia el tubo de alimentación a través de la bomba electromagnética permeable al gas durante la operación normal y el vacío de la cámara de vacío todavía estaría comprometido.

5 La presión en el recinto de presión controlada varía en un rango de presión de 1 - 1000 mbar o aproximadamente la presión atmosférica. Con el llenado del tubo de alimentación y durante la operación normal la presión en el recinto de presión controlada se mantiene preferiblemente en el rango de 1 - 200 mbar. Con la presión en este rango en el recinto de presión controlada el aire u otro gas no será arrastrado a través del sistema de alimentación hacia la cámara de vacío.

10 Con el vaciado del dispositivo evaporador y el tubo de alimentación, la presión en el recinto de presión controlada es aumentada a presión atmosférica o superior con el fin de dejar que el aire u otro gas ingrese al tubo de alimentación a través de la bomba electromagnética permeable al gas. La presión en el recinto de presión controlada es aumentada después de que el nivel del metal líquido está por debajo de la válvula en el tubo de alimentación. Debajo de la válvula en el tubo de alimentación está directamente debajo de la válvula o en un nivel en la bomba electromagnética, que podría ser el nivel en el cual la bomba electromagnética todavía puede ejercer una fuerza de Lorentz sobre el metal líquido.

15 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención se proporciona que el recinto de presión controlada también encierra al menos parte del tubo de alimentación. Esta característica proporciona la ventaja de una pérdida de calor reducida puesto que las pérdidas de calor a través de convección se reducen en gran medida en un vacío. Otra ventaja es que al proporcionar que la parte encerrada del tubo de alimentación que está ubicada por encima de la bomba electromagnética sea al menos parcialmente permeable al gas, el tubo de alimentación se puede usar para eliminar aire u otro gas del tubo de alimentación con el llenado del tubo de alimentación y dejar que ingrese aire al tubo de alimentación con el drenaje del tubo de alimentación. Esto se aplica especialmente para la parte del tubo de alimentación entre la bomba electromagnética permeable al gas y la válvula en el tubo de alimentación.

20 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención se proporciona que la bomba electromagnética esté hecha al menos parcialmente de grafito. Fue encontrado que el grafito tiene una cierta permeabilidad para gases similares a por ejemplo N₂ y aire. Para metal líquido, tal como Zn o Mg o una mezcla de metales líquidos la bomba de grafito es impermeable. La permeabilidad al gas del grafito es controlada al controlar la presión en el recinto de presión controlada como se describió anteriormente.

25 De acuerdo con otro aspecto de la invención se proporciona que la parte encerrada del tubo de alimentación esté hecha al menos parcialmente de grafito. Esto tiene el mismo efecto como lo descrito para la bomba electromagnética permeable al gas.

Se proporciona además que sea controlada la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor adaptado para contener un metal líquido.

30 Preferiblemente, el contenedor adaptado para contener un metal líquido es un contenedor cerrado y en donde es controlada la fuerza ejercida sobre el metal líquido controlando la presión del gas en el contenedor cerrado. De esta forma la fuerza que va a ser ejercida sobre el metal líquido en el contenedor puede controlarse muy fácilmente y puede variarse rápidamente si es necesario. El término "contenedor cerrado" significará un contenedor en donde la presión y/o la composición del gas dentro del contenedor es o puede ser controlada.

35 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención el método incluye que se proporcione un tubo de retorno, el cual recorre desde el dispositivo evaporador al contenedor, una bomba electromagnética, la cual es al menos parcialmente permeable al gas, en el tubo de retorno y se proporcione una válvula en el tubo de retorno entre la bomba electromagnética y la cámara de vacío, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno se proporciona en el recinto de presión controlada, que comprende la etapa de aumentar la presión y/o mantener una presión aumentada en el recinto de presión controlada antes y/o cuando se drena el metal líquido de la bomba electromagnética.

40 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 es cambiada debido a las diferentes tasas de evaporación de los constituyentes.

45 La divulgación también incluye una bomba electromagnética para usar en el método en donde la bomba electromagnética está hecha al menos parcialmente de un material permeable al gas. Preferiblemente, el material permeable al gas es grafito.

50 La invención proporciona un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, comprendiendo el aparato además un contenedor adaptado para contener un metal líquido, un tubo de alimentación desde el contenedor al dispositivo evaporador y una bomba electromagnética provista en el tubo de alimentación, en donde la bomba electromagnética es al menos parcialmente una bomba electromagnética permeable al gas y en donde se proporciona un recinto de presión controlada el cual encierra la bomba electromagnética.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención el recinto de presión controlada encierra al menos parte del tubo de alimentación.

La bomba electromagnética permeable al gas está hecha al menos parcialmente de grafito. Preferiblemente también al menos parte del tubo de alimentación que está encerrado en el recinto de presión controlada está hecho de grafito.

5 Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará además por el ejemplo mostrado en el dibujo, en el cual:

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, y

10 Figuras 2A, 2B, 2C muestran una vista esquemática de respectivamente una bomba electromagnética para un tubo de alimentación y una bomba electromagnética para un tubo de alimentación y un tubo de retorno.

Descripción detallada de los dibujos

15 La figura 1 muestra una vista esquemática de un aparato con una cámara 1 de vacío, en ambos lados provisto con cerraduras 2,3 de vacío, a través de las cuales es guiada una tira 4. Un dispositivo 5 evaporador es posicionado dentro de la cámara 1 de vacío y conectado a un distribuidor 6 de vapor. Los medios para suministrar suficiente energía al dispositivo evaporador, tal como en la bobina de inducción, también están colocados 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 con una bomba 7 de vacío y un manómetro 8.

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

El recipiente 10 es colocado en dispositivos 35 de pesaje que permiten pesar continuamente el contenido de recipiente 10 que proporciona información adicional sobre la tasa de flujo del metal líquido y la tasa de evaporación.

30 La bomba 11 se usa para bajar la presión en el contenedor cerrado. Con el fin de 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 bajando con eso la presión antes de ser reemplazado por un gas inerte después de lo cual la presión en el contenedor cerrado es ajustada y controlada con el fin de controlar la tasa de flujo del metal líquido al dispositivo evaporador.

35 El tubo 15 de alimentación recorre desde el recipiente 10 dentro del contenedor 9 cerrado en dirección hacia arriba al dispositivo 5 evaporador y en el tubo de alimentación se proporcionan una bomba 16 electromagnética permeable al gas y una válvula 17. La bomba 16 electromagnética permeable al gas y la válvula 17 están colocadas dentro de un recinto 18 de presión controlada. El recinto 18 de presión controlada se mantiene a un vacío bajo durante la operación lo cual evita pérdidas de calor a través de convección desde la bomba 16 electromagnética así como desde el tubo 15 de alimentación en alto grado. Con ese fin el recinto 18 de vacío está provisto con una bomba 34 de vacío y un manómetro 35.

45 Al inicio de un proceso por PVD el dispositivo 5 evaporador está provisto con metal líquido desde el recipiente 10 a través del tubo 15 de alimentación. En esta etapa la válvula 17 está cerrada. Es importante que todos los componentes sean calentados completamente antes de que comience el procedimiento de llenado. La presión dentro del recinto 18 de presión controlada es reducida o ya se redujo a una presión en el rango de 1 - 200 mbar. Debido a la permeabilidad de la bomba electromagnética permeable al gas el aire o gas presente en el tubo 15 de alimentación es expulsado a través de la bomba electromagnética permeable al gas. Este proceso puede acelerarse o asistirse aumentando la presión dentro del contenedor 9 cerrado para forzar el metal líquido al tubo 15 de alimentación. Con el tubo de alimentación también permeable al gas hasta al menos la válvula 17 totalmente o tan bien como para que todo el aire o gas en el tubo 15 de alimentación pueda ser expulsado antes de que la válvula 17 sea abierta. De esta forma se evita que la presión de vacío en la cámara de vacío sea afectada.

50 La parte de tubo 15 de alimentación debajo del recinto 18 de presión controlada, que es la parte del tubo de alimentación en el fuelle 19 y dentro del contenedor 9 cerrado, debe ser impermeable al gas.

ES 2 786 975 T3

Al final de un proceso por PVD el metal líquido es arrastrado del dispositivo 5 evaporador y regresado al recipiente 10 en el contenedor 9. Con este fin, la bomba 16 electromagnética permeable al gas es controlada para forzar el metal líquido al recipiente 10. Tan pronto como el metal líquido está a un nivel por debajo de la válvula 17, la válvula 17 es cerrada y la cámara de vacío ya no está en conexión con el sistema por debajo de la válvula 17. La presión dentro del recinto 18 de presión controlada es elevada y con la presión aumentada el aire o gas en el recinto de presión controlada será arrastrado fácilmente hacia el tubo de alimentación a través de la bomba electromagnética permeable al gas y el tubo de alimentación permeable al gas en la medida en que sea previsto. Con eso el metal líquido puede arrastrarse del tubo de alimentación de una manera controlada sin causar ninguna salpicadura o perturbación en el metal líquido en el recipiente 10. Este proceso puede acelerarse o asistirse disminuyendo la presión dentro del contenedor 9 cerrado para forzar el metal líquido en el contenedor de líquido. Sin embargo se debe tener cuidado de que no ocurrirá evaporación y como tal contaminación del contenedor cerrado.

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

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

Es importante que el imán 21 no se sobrecaliente debido a que esto dará como resultado una disminución de la resistencia del campo magnético. Por esa razón el imán 21 es colocado fuera del recinto 18 de presión controlada, 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 es dada por la diferencia de presión y la altura de columna:

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

en donde

P3 = la presión en el contenedor cerrado,

P1 = la presión en la cámara de vacío,

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

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

Una vez que la evaporación del metal líquido en el dispositivo evaporador ha iniciado la fuerza de accionamiento del metal líquido es:

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

en donde

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

Cuando la bomba electromagnética está ejerciendo una fuerza contra el flujo hacia arriba del metal líquido la fuerza es dada por:

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

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 iniciado la ecuación cambia a:

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

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

5 configuración los electrodos no están en contacto directo con el metal líquido lo cual tiene la ventaja de que los electrodos durarán mucho más que los electrodos que están en contacto directo con el metal líquido. Un prerrequisito es que el material de la bomba electromagnética permeable al gas sea eléctricamente conductor, lo cual es el caso con una bomba electromagnética de grafito. Una ventaja adicional es que la corriente pasa a través del cuerpo de la bomba electromagnética como resultado de lo cual la bomba electromagnética se puede calentar a través de calentamiento por resistencia. El método según lo descrito también funciona por supuesto con bombas electromagnéticas permeables al gas en donde los electrodos están en contacto directo con el metal líquido.

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

En vez de una fuente de alimentación de DC variable y una bobina de DC también es posible utilizar una fuente de alimentación de AC variable y una bobina de AC para el electroimán.

15 La figura 2B muestra una configuración con un tubo 15 de alimentación y un tubo 24 de retorno uno al lado del otro con bombas 18, 25 electromagnéticas para el tubo 15 de alimentación y tubo 24 de retorno respectivamente. El campo magnético tanto para el tubo 15 de alimentación como para el tubo 24 de retorno está provisto con los mismos imanes 21 permanentes. Se proporcionan fuentes 23, 26 de alimentación de DC variables separadas para el tubo 15 de alimentación y el tubo 24 de retorno respectivamente que están conectados de manera inversa a los electrodos dado que las fuerzas de Lorentz deben estar en dirección opuesta. El tubo 15 de alimentación y el tubo 24 de retorno están en contacto térmico entre sí pero aislados eléctricamente entre sí. La tasa de flujo en el tubo de retorno diferirá por la tasa de evaporación de la tasa de flujo en el tubo de alimentación y por esa razón la corriente a través del tubo 24 de retorno será mayor que a través del tubo 15 de alimentación.

25 La figura 2C muestra una configuración en donde los electrodos 22 de tubo 15 de alimentación y tubo 25 de alimentación están conectados en serie lo cual solo requiere una fuente 23 de alimentación y en donde la misma corriente pasa a través de ambos tubos de alimentación. Con el fin de controlar la tasa de flujo en cada tubo el campo magnético del imán 21, 36 en cada tubo 15, 24 es controlado por separado.

30 Con un tubo 15 de alimentación y un tubo 24 de retorno el llenado del tubo 15 de alimentación es el mismo como para la configuración con solo un tubo de alimentación. Preferiblemente, sin embargo, el tubo 24 de retorno es llenado de la misma manera como el tubo de alimentación con el fin de evitar que el aire o gas en el tubo de retorno hasta una válvula en el tubo de retorno, válvula que se proporciona entre la bomba 25 electromagnética permeable al gas y el dispositivo 5 evaporador, sea arrastrado hacia la cámara de vacío cuando se abre la válvula en el tubo de retorno. El drenaje del tubo 24 de retorno se hace de la misma manera como el drenaje del tubo 15 de alimentación como se describe para la configuración con solo un tubo de alimentación.

REIVINDICACIONES

1. Método para operar un aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, en donde el tubo de alimentación recorre desde un contenedor adaptado para contener un metal líquido al dispositivo evaporador y en donde se proporciona una bomba electromagnética en el tubo de alimentación y una válvula en el tubo de alimentación entre la bomba electromagnética y el dispositivo evaporador, caracterizado porque el método comprende:
- 5
- proporcionar una bomba electromagnética la cual es al menos parcialmente permeable al gas,
 - encerrar la bomba electromagnética en un recinto de presión controlada,
 - 10 - bajar la presión y/o mantener un vacío en el recinto de presión controlada antes y/o cuando se llena la bomba electromagnética con metal líquido,
 - mantener un vacío en el recinto de presión controlada durante la operación, y
 - aumentar la presión y/o mantener una presión aumentada en el recinto de presión controlada antes y/o cuando se drena el metal líquido de la bomba electromagnética.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el vacío en el recinto de presión controlada es un vacío bajo.
- 15
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la presión aumentada en el recinto de presión controlada es presión atmosférica o superior.
4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la válvula está cerrada antes del llenado y drenaje de la bomba electromagnética.
- 20
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el recinto de presión controlada encierra al menos parte del tubo de alimentación.
6. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la parte encerrada del tubo de alimentación que está ubicada por encima de la bomba electromagnética es al menos parcialmente permeable al gas.
7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la bomba electromagnética está hecha al menos parcialmente de grafito.
- 25
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde al menos la parte encerrada del tubo de alimentación está hecha al menos parcialmente de grafito.
9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde se controla la fuerza sobre el metal líquido en el contenedor adaptado para contener un metal líquido.
- 30
10. Método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el contenedor adaptado para contener un metal líquido es un contenedor cerrado y en donde se controla la fuerza sobre el metal líquido controlando la presión del gas en el contenedor cerrado.
11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde se aplica un campo magnético para la bomba electromagnética desde fuera del recinto de presión controlada.
- 35
12. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde se proporciona un tubo de retorno, que recorre desde el dispositivo evaporador al contenedor, una bomba electromagnética, la cual es al menos parcialmente permeable al gas, en el tubo de retorno y una válvula en el tubo de retorno entre la bomba electromagnética y la cámara de vacío, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno se proporciona en el recinto de presión controlada, que comprende la etapa de aumentar la presión y/o mantener una presión aumentada en el recinto de presión controlada antes y/o cuando se drena el metal líquido de la bomba electromagnética.
- 40
13. Aparato para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, comprendiendo el aparato además un contenedor adaptado para contener un metal líquido, un tubo de alimentación desde el contenedor al dispositivo evaporador y una bomba electromagnética provista en el tubo de alimentación, caracterizado porque la bomba electromagnética es al menos parcialmente una bomba electromagnética permeable al gas y en donde se proporciona un recinto de presión controlada el cual encierra la bomba electromagnética.
- 45
14. Aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el recinto de presión controlada encierra al menos parte del tubo de alimentación.
15. Aparato de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en donde la bomba electromagnética permeable al gas está hecha al menos parcialmente de grafito.

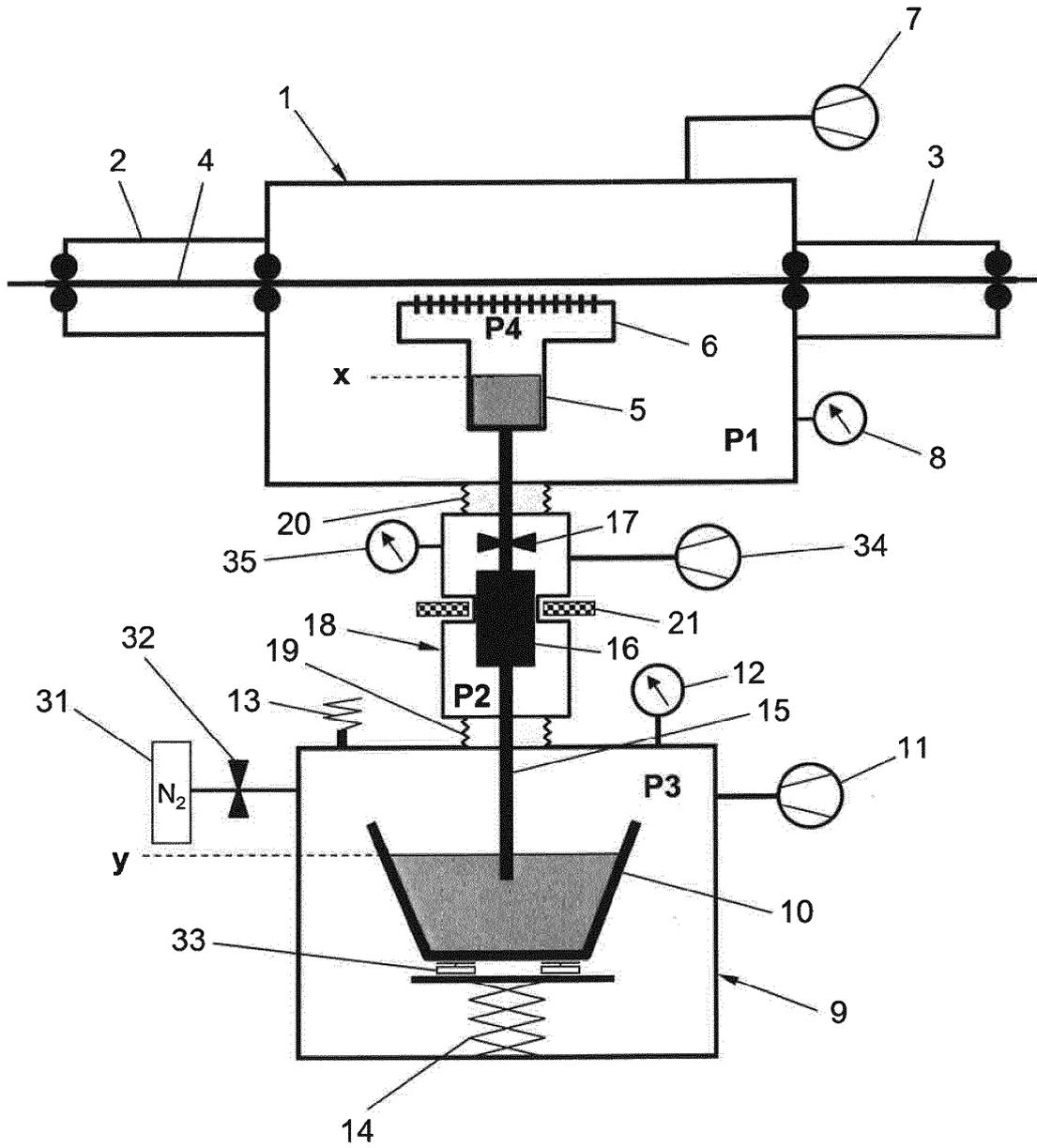


Fig. 1

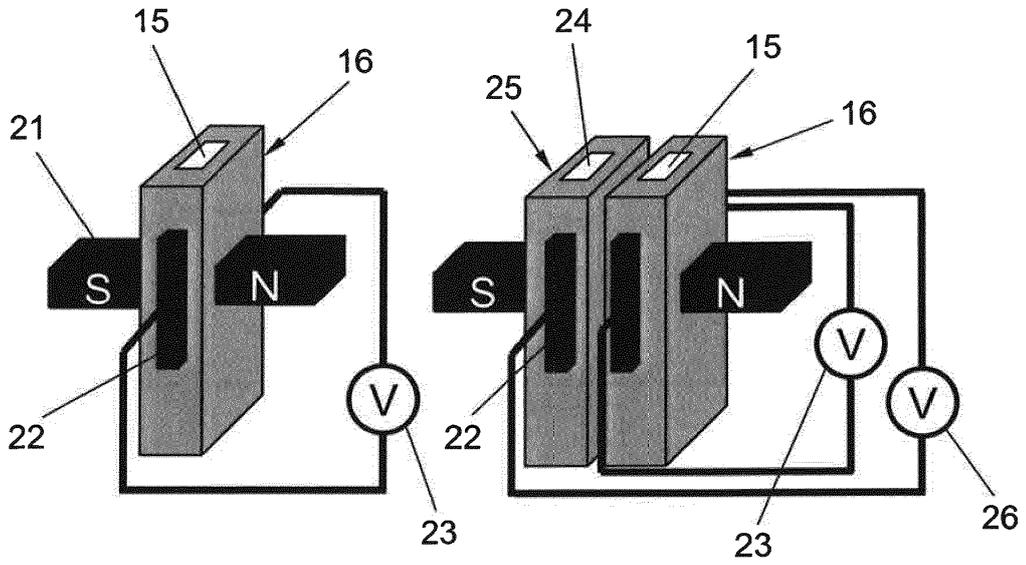


Fig. 2A

Fig. 2B

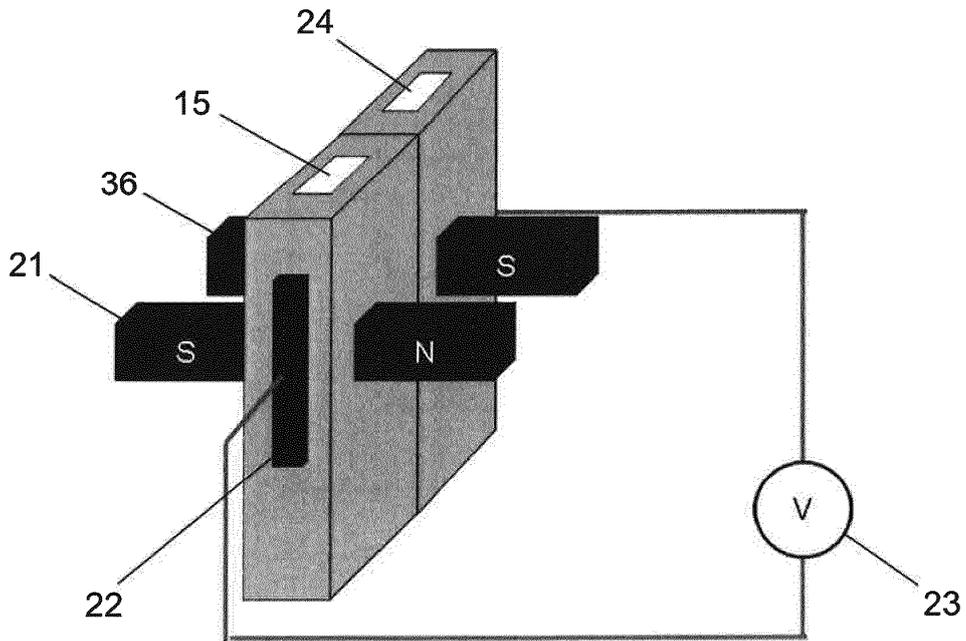


Fig. 2C