

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 962**

51 Int. Cl.:

C23C 14/24 (2006.01)

H02K 44/02 (2006.01)

H02P 29/60 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.05.2017 PCT/EP2017/060315**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.11.2017 WO17191081**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.05.2017 E 17720141 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 3452632**

54 Título: **Método para controlar la temperatura de una bomba electromagnética**

30 Prioridad:

03.05.2016 EP 16168173

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

24.02.2021

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 2 807 962 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 controlar la temperatura de una bomba electromagnética

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un método para controlar la temperatura de una bomba electromagnética para alimentar metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, así como a una bomba electromagnética. Tal dispositivo se utiliza, por ejemplo, en la deposición de un recubrimiento de metal sobre un sustrato por medio de deposición física de vapor (PVD).

Antecedentes de la invención

10 Para los procesos de recubrimiento de 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 utiliza 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 se puede hacer con material sólido o líquido. Sin embargo, la mejor manera es alimentar con metal líquido desde un gran depósito de líquido 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 divulgado 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, 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 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 El suministro de metal líquido desde el contenedor de metal líquido al dispositivo evaporador puede controlarse de diferentes maneras. En el documento US3059612 se divulga elevar 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.

30 En el documento US3581766 se proporciona un depósito adicional entre el contenedor principal de metal líquido 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 principal de metal líquido. 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, 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 utilizar 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. Se divulga una mejor solución en el documento WO2013143692, donde se utilizan tanto una válvula como una bomba para controlar el flujo.

35 Sin embargo, todavía hay otros problemas que no están cubiertos en las publicaciones mencionadas anteriormente. Uno de los problemas con la ubicación del depósito 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 tal que las condiciones de vacío en la cámara no se vean afectadas. Esto se puede hacer con un tipo de conexión por debajo, véase por ejemplo GB1220020, pero es igual de importante que esta configuración no genere un punto frío que pueda provocar la congelación de la fusión y, como tal, un bloqueo.

40 Otro requisito es que todas las tuberías y la bomba electromagnética se calienten a la temperatura requerida y se mantengan a esa temperatura durante la operación. 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.

45 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 en la tubería y generar problemas con la evaporación o el bloqueo. En la patente JPS5938379 se describe un procedimiento de inicio 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.

55

Otro requisito más es que todas las tuberías deben calentarse a la temperatura requerida y, además, como se indica en la patente US3408224, podría ser necesario desgasificar el material líquido antes de la deposición para garantizar que no se produzca esta desgasificación en el evaporador, lo que podría alterar el proceso de evaporación.

5 Finalmente, el método divulgado en el documento WO2015067662 hace posible drenar el evaporador sin frenar el vacío, pero sin medidas adicionales no es posible vaciar todas las tuberías en el sistema.

Objetos de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método para proporcionar un calentamiento suficiente de la bomba electromagnética.

10 Es otro objeto de la presente invención proporcionar un método para proporcionar un calentamiento suficiente de los tubos del sistema.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar un método en donde las pérdidas de calor de la bomba electromagnética y los tubos del sistema estén además limitadas.

Es aún otro objeto de la presente invención proporcionar una bomba electromagnética con medios para controlar fácilmente el calentamiento de la bomba electromagnética.

15 Descripción de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, uno o más de los objetos de la invención se logran proporcionando un método para controlar la temperatura de una bomba electromagnética en un aparato en donde se suministra un metal líquido a través de un tubo de alimentación desde un contenedor adaptado para contener un metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, en donde el suministro del metal líquido se controla ejerciendo una fuerza sobre el metal líquido en el contenedor, la presión en el dispositivo evaporador y por la bomba electromagnética en el tubo de alimentación, en donde el método comprende:

- proporcionar una bomba electromagnética que esté hecha al menos parcialmente de un material conductor eléctrico,
- suministrar corriente para la bomba electromagnética a través del material conductor eléctrico, y

25 controlar la temperatura de la bomba electromagnética controlando uno o más de:

- la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor,
- la corriente de la bomba electromagnética, y/o
- la fuerza del campo del imán de la bomba electromagnética.

30 La temperatura de la bomba electromagnética está determinada al menos parcialmente por la corriente a través del material conductor eléctrico de 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. En el método, la fuerza se ejerce contra el flujo del contenedor a la cámara de vacío. La fuerza ejercida con la bomba electromagnética sobre el metal líquido es igual a $F = B \cdot I \cdot C$, en donde:

35 B es el campo magnético, I la corriente a través de la bomba electromagnética y a través del metal líquido y C una constante. Para el calentamiento de la bomba electromagnética, la corriente debe aumentarse durante un tiempo determinado, lo que se puede hacer:

- al aumentar la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor, lo que requiere una mayor fuerza contraria por parte de la bomba electromagnética para mantener constante la tasa de flujo,
- al disminuir el campo magnético y al mismo tiempo aumentando la corriente para mantener constante la tasa de flujo,
- al alternar la corriente a través de la bomba electromagnética y el metal líquido, en donde el volumen de metal líquido dentro del dispositivo evaporador fluctúa entre diferentes niveles. Al disminuir y aumentar la corriente, el efecto neto de $P = I^2 \times R$ es que la temperatura de la bomba electromagnética aumentará.

45 En la última opción mencionada solo se cambia la corriente, mientras que en las otras dos opciones se cambian dos de los parámetros relevantes. Por supuesto, también es posible cambiar los tres parámetros o cambiar la diferencia de altura entre el nivel de metal líquido en el contenedor y el del dispositivo evaporador en combinación con otros parámetros, pero estos métodos de control son demasiado complicados y por esa razón no se prefieren.

- La fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor, la corriente para la bomba electromagnética y/o la fuerza del campo del imán de la bomba electromagnética se controlan dependiendo del suministro requerido de metal líquido al dispositivo evaporador. Estos parámetros se pueden cambiar para controlar el calentamiento de la bomba electromagnética, pero en general el suministro del metal líquido al dispositivo evaporador debe corresponder a la cantidad requerida de metal líquido en el dispositivo de evaporación y complementar la cantidad de metal evaporado. Debido al volumen relativamente grande de metal líquido contenido en el dispositivo evaporador, hay suficiente juego entre el nivel mínimo y máximo de metal líquido en el dispositivo de evaporación, como resultado de lo cual hay suficiente espacio para cambiar los parámetros de control que afectan el nivel en el metal líquido en el dispositivo evaporador.
- De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se provee que el contenedor adaptado para contener un metal líquido es un contenedor cerrado. La expresión "contenedor cerrado" significará un contenedor en donde la presión y/o la composición del gas dentro del contenedor es o puede controlarse.
- La fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor se controla preferiblemente controlando la presión de un gas en el contenedor cerrado. De esta manera, la fuerza a ejercer sobre el metal líquido en el contenedor puede controlarse muy fácilmente y puede variarse rápidamente si es necesario.
- Se proporciona preferiblemente que la bomba electromagnética esté hecha al menos parcialmente de grafito. El grafito es un material conductor eléctrico y es capaz de soportar altas temperaturas, así como el ataque químico de metales líquidos, tales como Zn y Mg. La bomba electromagnética puede estar hecha de más de un material conductor, lo que sin embargo no es muy práctico y generaría más problemas que las ventajas que tendría.
- De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se proporciona que los electrodos para suministrar la corriente para la bomba electromagnética se proporcionen contra la bomba. Con los electrodos contra el exterior del cuerpo de la bomba o en un rebaje en el cuerpo de la bomba, la corriente necesaria para el control de la bomba electromagnética se conduce por una parte a través del cuerpo de la bomba electromagnética y por una parte a través del metal líquido para ser controlada con la bomba electromagnética.
- Se proporciona además que la bomba electromagnética se proporcione en un recinto de vacío. 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.
- De acuerdo con un aspecto adicional 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 preferiblemente que el recinto de vacío se conecte a la cámara de vacío y/o al contenedor cerrado. Con esta configuración, la parte más grande o completa del tubo de alimentación está fuera del contenedor cerrado y la cámara de vacío está dentro del recinto de vacío.
- 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 cerrado 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 causados por los cambios de temperatura.
- Con la bomba electromagnética y el tubo de alimentación en el recinto de vacío, la pérdida de calor por convección es limitada 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.
- La presión en el recinto de vacío se mantiene en el rango de 1 mbar a 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 drenaje del tubo de alimentación y la bomba electromagnética, respectivamente, la presión en el recinto de vacío es aproximadamente la presión atmosférica. Durante la operación, la presión en el recinto de vacío se mantiene preferiblemente en el rango de 1 a 200 mbar. Al mantener la presión en el recinto de vacío en el rango de bajo vacío, la pérdida de presión 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 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.
- Se proporciona además que el tubo de alimentación se calienta. El tubo de alimentación se calienta mediante calentamiento por resistencia o mediante calentadores proporcionados en la pared del tubo de alimentación. Aunque las pérdidas de calor del tubo de alimentación se evitan parcialmente al encerrar al menos parte del tubo de alimentación en el recinto de vacío, aún será necesario calentar el tubo de alimentación debido a la distancia entre el contenedor cerrado y la bomba electromagnética y entre la bomba electromagnética y el dispositivo evaporador.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se proporciona un tubo de retorno y una bomba electromagnética en el tubo de retorno, en donde el tubo de retorno va desde el dispositivo evaporador al contenedor cerrado, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno es al menos parcialmente hecha de un material conductor eléctrico y en donde la corriente para la bomba electromagnética se suministra a través del material conductor eléctrico y en donde la temperatura de la bomba electromagnética en el tubo de retorno se controla controlando la corriente de la bomba electromagnética y/o la fuerza del campo del imán de la bomba electromagnética.

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 tasas de evaporación de los componentes.

En una primera realización, la bomba electromagnética en el tubo de retorno está colocada paralela a la bomba electromagnética en el tubo de alimentación. Con esa configuración, las bombas electromagnéticas se colocan una contra la otra, lo que permite proporcionar un imán común para la bomba electromagnética en el tubo de retorno y la bomba electromagnética en el tubo de alimentación. Para poder controlar la tasa de flujo en cada tubo, se proporcionan fuentes de potencia separadas para el tubo de alimentación y el tubo de retorno.

En una segunda realización, la bomba electromagnética en el tubo de retorno se coloca en serie con la bomba electromagnética en el tubo de alimentación y se conectan los electrodos enfrentados de las bombas electromagnéticas. Al colocar las bombas electromagnéticas una contra la otra, se conectan los electrodos enfrentados. Con esta configuración, la bomba electromagnética en el tubo de retorno y la bomba electromagnética en el tubo de alimentación tienen cada una su propio imán y solo se necesita una fuente de potencia para ambos tubos.

Si se controla la intensidad del campo magnético para controlar la tasa de flujo del metal líquido, se proporcionan dos opciones. Una primera opción es que el campo del imán de la bomba electromagnética se controla controlando la distancia de los polos del imán con respecto a la bomba electromagnética. Una segunda opción es controlar el flujo magnético proporcionando un segundo brazo de yugo en el que se puede variar la distancia entre dos polos. Una tercera opción es controlar el campo magnético proporcionado por un electroimán controlando una corriente continua o alterna a través de la bobina del electroimán.

Para un imán permanente solo están disponibles la primera y la segunda opción y para un electroimán las tres opciones están disponibles, pero en el último caso la tercera opción será la opción elegida.

La bomba electromagnética está hecha al menos parcialmente de un material conductor eléctrico y los electrodos de la bomba electromagnética están proporcionados contra la bomba electromagnética. Preferiblemente, la bomba electromagnética está hecha al menos parcialmente de grafito.

Además, se proporcionan medios de control para controlar la corriente para la bomba electromagnética y/o para controlar el campo magnético para la bomba electromagnética.

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

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,

Las 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,

Las figuras 3A,3B muestran 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.

Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 muestra una vista esquemática de un aparato con una cámara 1 de vacío, en ambos lados proporcionada de cierres 2,3 de vacío, a través de los cuales se guía una tira 4. Un dispositivo 5 evaporador se coloca dentro de la cámara 1 de vacío y se conecta a un distribuidor 6 de vapor. Los medios para suministrar suficiente energía al dispositivo evaporador, tal como en la 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 proporcionada además de una bomba 7 de vacío y un manómetro 8.

ES 2 807 962 T3

En la parte de inferior de la figura 1, se proporciona un contenedor 9 cerrado dentro del contenedor un recipiente 10 para contener un metal líquido. El contenedor 9 cerrado está proporcionado además de una bomba 11, un manómetro 12 y un relé 13 de sobrepresión. El recipiente está proporcionado de medios de calentamiento (no mostrados) 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 N₂. Se proporcionan medios 14 de elevación para elevar y bajar el recipiente 10 para poder sumergir el extremo del tubo 15 de alimentación en el metal líquido o sacarlo del metal líquido. Los medios 14 de elevación también pueden utilizarse en el control de la tasa de flujo del metal líquido hacia el dispositivo 5 evaporador, ya que con la elevación y la reducción de la distancia entre el nivel del líquido en el recipiente y el del dispositivo de evaporación cambia.

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

La bomba 11 se utiliza para bajar 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, reduciendo 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 tasa de flujo del metal líquido al dispositivo evaporador.

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

El recinto 18 de vacío se conecta al contenedor 9 cerrado y la cámara 1 de vacío por medio de los 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 la cámara 1 de vacío. Sin embargo, la fuga de vacío inevitable 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 vacío.

La bomba 16 de la bomba electromagnética está proporcionada de un imán 21 permanente para generar un campo magnético y una fuente de potencia 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 utiliza en el control de la tasa 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 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 porque esto dará como resultado una disminución de la intensidad del campo magnético. Por esa razón, el imán 21 se coloca fuera del recinto 18 de vacío, el cual 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:

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

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 del 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 comenzado, la fuerza impulsora del metal líquido es:

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

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

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

5 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:

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

10 Si se debe aumentar el calentamiento de la bomba electromagnética, se aumenta P3, lo que requerirá una fuerza de Lorentz mayor 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 el metal líquido, lo que proporcionará el calentamiento de la resistencia adicional.

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

Perpendiculares a los electrodos 22 son los polos del imán 21, que en esta configuración son dos imanes permanentes conectados por medio de un yugo (no mostrado). En lugar de imanes permanentes, también es posible utilizar 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.

20 En lugar de una fuente de potencia de DC variable y una bobina de DC, también es posible utilizar una fuente de potencia de AC variable y una bobina de AC para el electroimán.

25 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 el tubo 24 de retorno respectivo. El campo magnético para el tubo 15 de alimentación y el tubo 24 de retorno está proporcionado de los mismos imanes 21 permanentes. Se proporcionan fuentes 23, 26 de potencia de DC variables separadas para el respectivo tubo 15 de alimentación y el tubo 24 de retorno que están conectados inversamente a los electrodos, ya 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 están aislados eléctricamente entre sí. La tasa de flujo en el tubo de retorno diferirá en 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.

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

35 La figura 3A, 3B muestra 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 cambiando la distancia entre los polos de esta segunda pata. Para este fin, la pata 38 del yugo está diseñada para permitir tal desplazamiento lineal.

40 En la configuración de acuerdo con la figura 3B, la fuerza magnética varía variando la distancia entre los polos del imán 21. Esto puede variar mediante una rotación o desplazamiento lineal. En la figura 3B se representa un desplazamiento rotacional donde el yugo 37 está proporcionado de un punto 39 de pivote y un dispositivo 40 de husillo para una rotación controlada y con ello un cambio controlado de la distancia entre los polos del imán 21.

45 La figura 4 muestra esquemáticamente un segmento de un tubo 15 de alimentación con un canal 27 y dos realizaciones de calentamiento diferentes. Un primer método de calentamiento es calentar el tubo de alimentación mediante calentamiento por resistencia con una fuente 28 de potencia en donde el material del tubo de alimentación sirve como resistencia. El segundo método de calentamiento es con un calentador 29 de funda con una fuente 30 de potencia, en donde el calentador se proporciona en un orificio o un rebaje en el tubo 15 de alimentación. Las fuentes 28, 30 de potencia podrían ser fuentes de potencia de DC o AC. De hecho, esto también es calentamiento por resistencia en donde la resistencia está encerrada en una funda y aislada eléctricamente del tubo de alimentación. Todas las tuberías 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. Método para controlar la temperatura de una bomba electromagnética en un aparato en donde se suministra un metal líquido a través de un tubo de alimentación desde un contenedor adaptado para contener un metal líquido a un dispositivo evaporador en una cámara de vacío, en donde el suministro del metal líquido es controlado ejerciendo una fuerza sobre el metal líquido en el contenedor, la presión en el dispositivo evaporador y la bomba electromagnética en el tubo de alimentación, caracterizado porque el método comprende:
- proporcionar una bomba electromagnética que está hecha al menos parcialmente de un material conductor eléctrico,
 - suministrar corriente para la bomba electromagnética a través del material conductor eléctrico, y
- controlar la temperatura de la bomba electromagnética controlando uno o más de
- 10 - la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor,
- la corriente de la bomba electromagnética, y/o
 - la fuerza del campo del imán de la bomba electromagnética.
- 15 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor, la corriente para la bomba electromagnética y/o la fuerza del campo del imán de la bomba electromagnética se controlan dependiendo del suministro requerido de metal líquido al dispositivo evaporador.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el contenedor adaptado para contener un metal líquido es un contenedor cerrado y en donde la fuerza ejercida sobre el metal líquido en el contenedor se controla controlando la presión de un gas en el contenedor cerrado.
- 20 4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporciona que la bomba electromagnética esté hecha al menos parcialmente de grafito.
5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los electrodos para suministrar la corriente para la bomba electromagnética se proporcionan contra la bomba.
6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la bomba electromagnética se proporciona en un recinto de vacío.
- 25 7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el recinto de vacío encierra además al menos parte del tubo de alimentación.
8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el tubo de alimentación se calienta.
9. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el tubo de alimentación se calienta mediante calentamiento por resistencia o mediante calentadores proporcionados en la pared del tubo de alimentación.
- 30 10. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporcionan un tubo de retorno y una bomba electromagnética en el tubo de retorno, en donde el tubo de retorno va desde el dispositivo evaporador al contenedor cerrado, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno está al menos parcialmente hecha de un material conductor eléctrico y en donde la corriente para la bomba electromagnética se suministra a través del material conductor eléctrico y en donde la temperatura de la bomba electromagnética en el tubo de retorno se controla controlando la corriente de la bomba electromagnética y/o la resistencia del campo del imán de la bomba electromagnética.
- 35 11. Método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno se coloca paralela a la bomba electromagnética en el tubo de alimentación.
- 40 12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno y la bomba electromagnética en el tubo de alimentación tienen un imán común.
13. Método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno se coloca en serie con la bomba electromagnética en el tubo de alimentación y en donde se conectan electrodos enfrentados de las bombas electromagnéticas.
- 45 14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, en donde la bomba electromagnética en el tubo de retorno y la bomba electromagnética en el tubo de alimentación tienen cada una su propio imán.
15. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el campo del imán de la bomba electromagnética se controla controlando la distancia de los polos del imán con respecto a la bomba electromagnética y/o controlando el campo magnético proporcionado por un electroimán controlando una corriente continua o alterna a través de la bobina del electroimán.

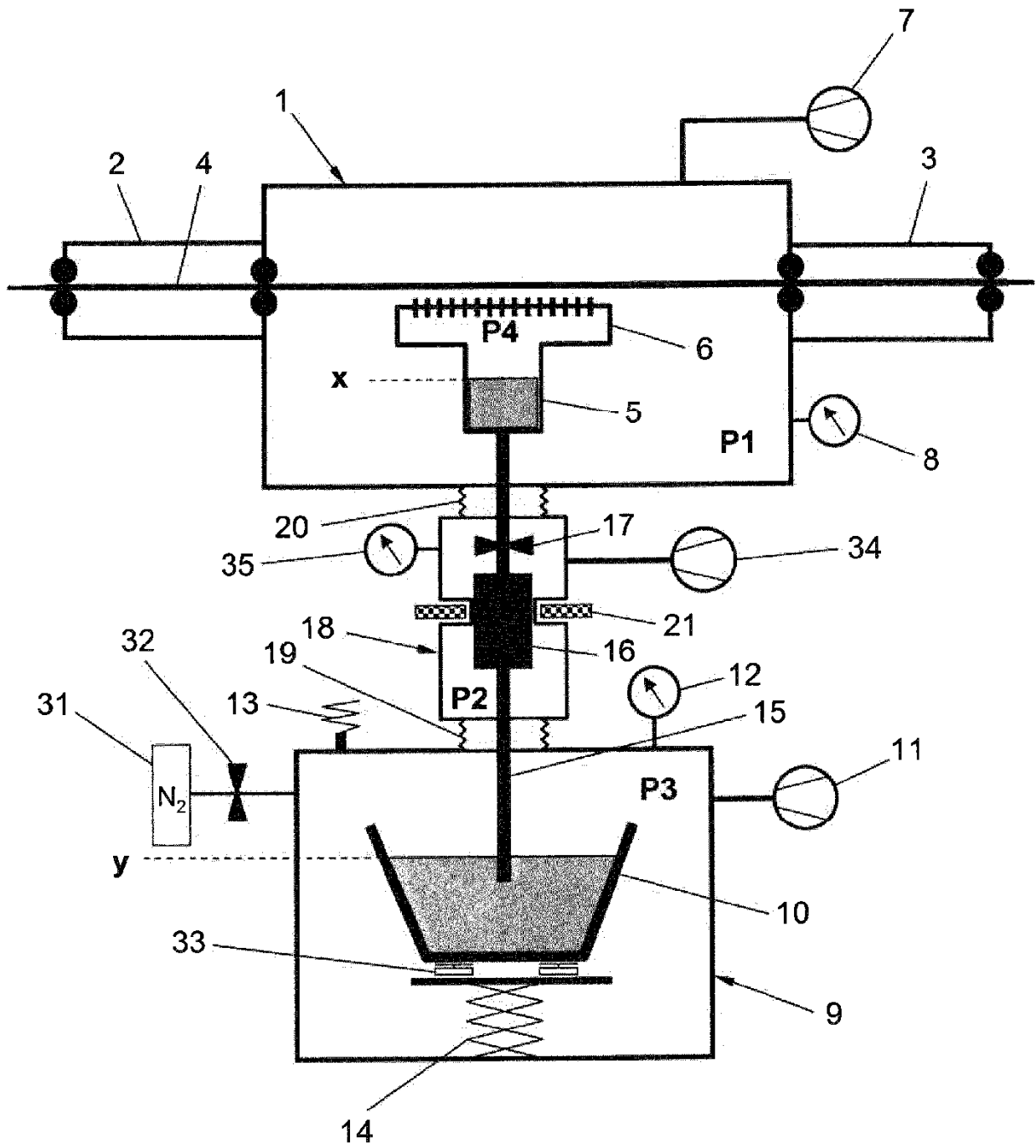


Fig. 1

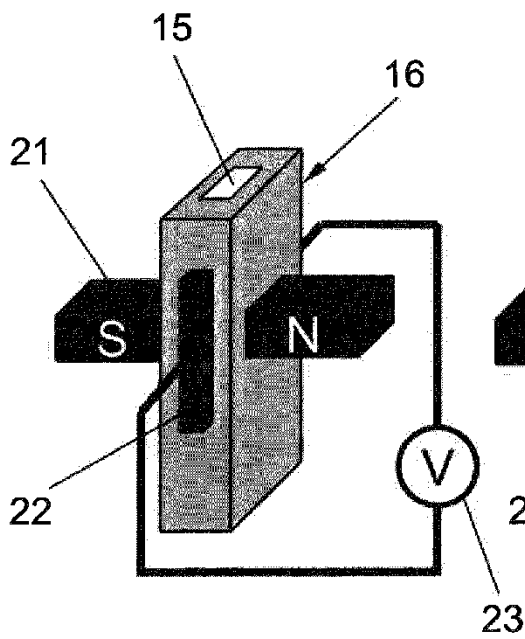


Fig. 2A

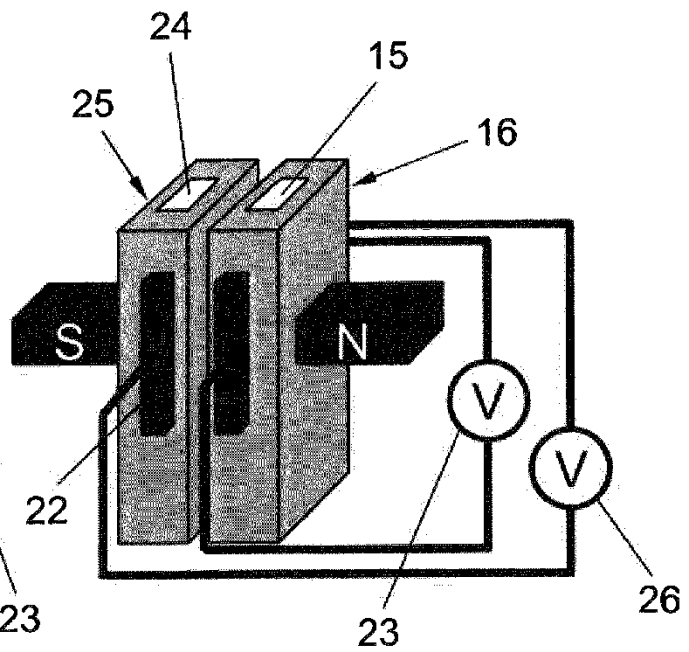


Fig. 2B

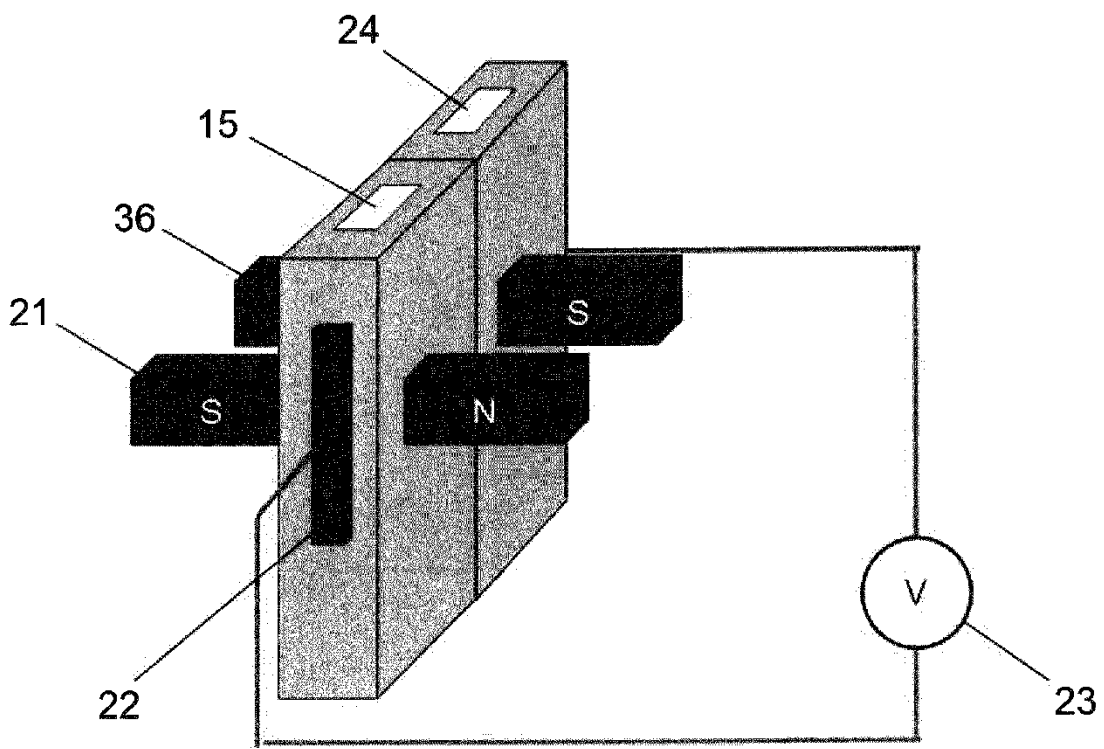


Fig. 2C

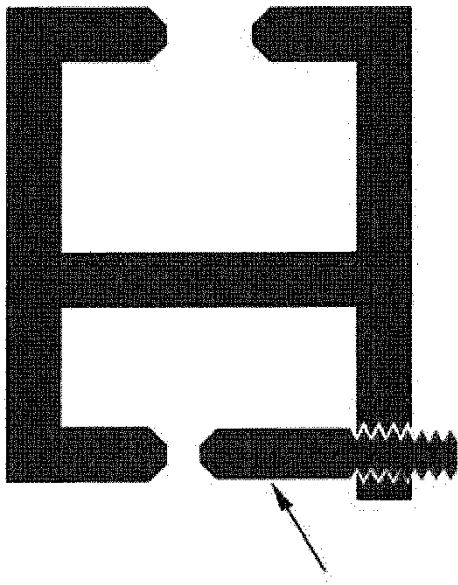


Fig. 3A

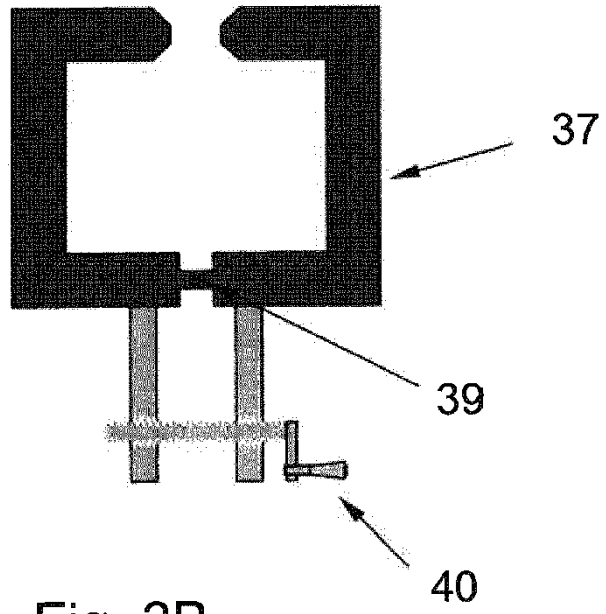


Fig. 3B

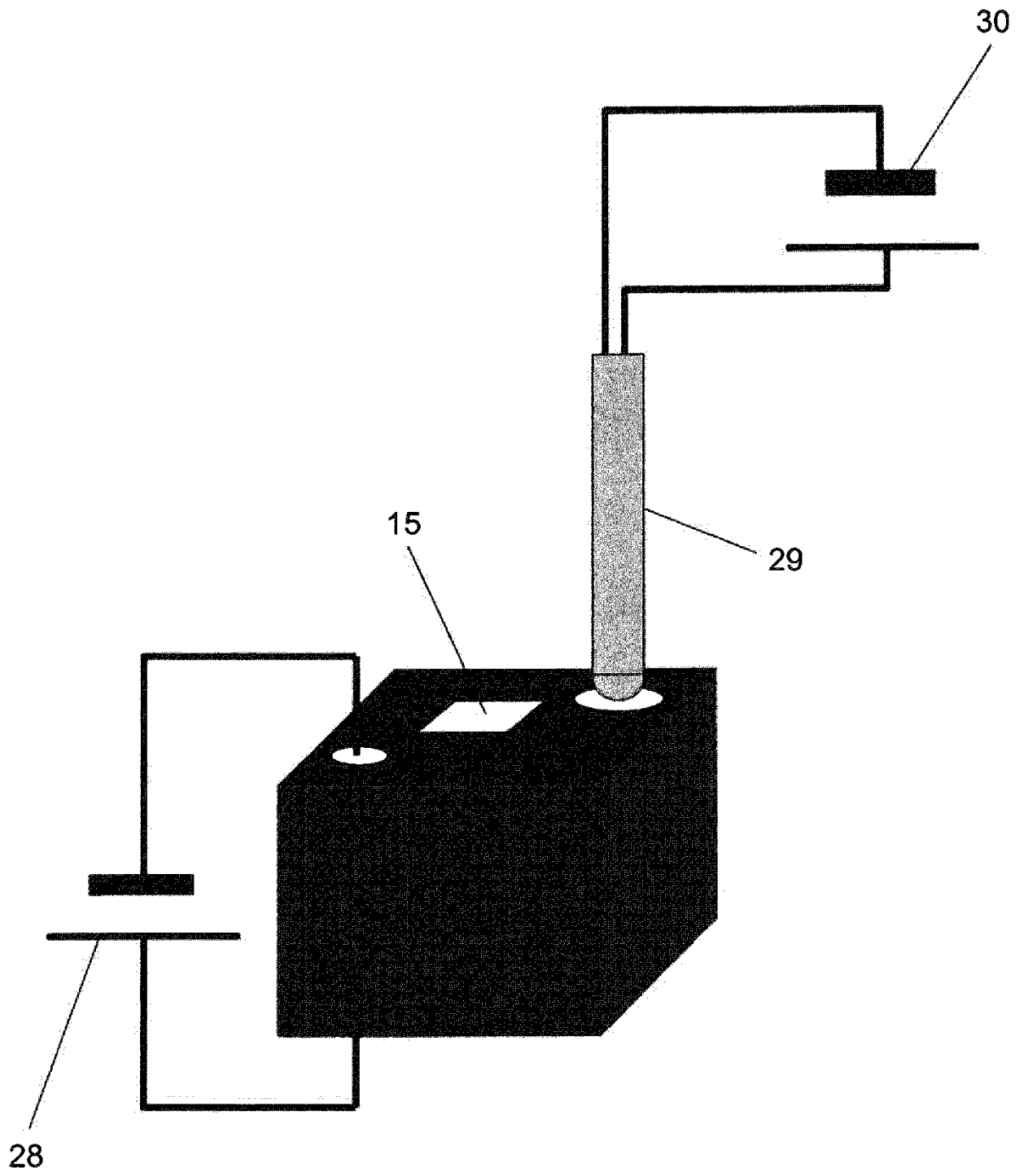


Fig. 4