

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 115**

51 Int. Cl.:

**G04F 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2014 PCT/EP2014/052365**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.08.2015 WO15117660**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2014 E 14703576 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018 EP 3102983**

54 Título: **Dispositivo para un reloj atómico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.03.2019**

73 Titular/es:  
**OROLIA SWITZERLAND SA (100.0%)  
Vauseyon 29  
2000 Neuchâtel, CH**

72 Inventor/es:  
**ROCHAT, PASCAL y  
LEUENBERGER, BERNARD**

74 Agente/Representante:  
**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 703 115 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**

Dispositivo para un reloj atómico.

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo para un reloj atómico, y a un reloj atómico que comprende este dispositivo. La presente invención también se refiere a un procedimiento para fabricar este dispositivo para un reloj atómico, y a un procedimiento para fabricar el reloj atómico que comprende este dispositivo.

10

**Descripción de la técnica anterior**

Aplicaciones de comunicaciones, localización, aeroespaciales, defensa y similares requieren referencias de frecuencia con alta estabilidad y precisión. Los relojes atómicos son las referencias de frecuencia disponibles más estables y precisas, ya que aprovechan una transición atómica de átomos de metal alcalino, por ejemplo los átomos de cesio o los de rubidio, para corregir la frecuencia de salida de un oscilador local con el fin de mejorar su estabilidad.

15

Según la teoría de la electrónica cuántica de hecho los electrones de un átomo pertenecen a estados de energía, correspondiendo cada estado a un nivel de energía discreto específico. Las diferencias entre las energías de estos estados definen, según las leyes de la electrónica cuántica, frecuencias específicas. Estas frecuencias son sustancialmente iguales para cada átomo: este es el motivo por el que los átomos son referencias de frecuencia estables y precisas.

20

Se utilizan átomos de metal alcalino ya que su estado fundamental comprende dos niveles de energía muy estrechamente espaciados. Este espaciamiento de división o transición, denominado "estructura hiperfina", genera una referencia de frecuencia realmente estable y precisa.

25

Se contienen átomos de metal alcalino como vapor en una celda o envase, por ejemplo fabricado de vidrio o de silicio. Se dirige una fuente de luz, por ejemplo una fuente de láser como un láser de emisión de superficie de cavidad vertical (VCSEL), a la celda. Entonces se utiliza un sensor de luz, por ejemplo un fotodetector, en línea con el haz de luz para medir la transmisión de la luz a través de la celda que contiene los átomos. Una bobina alrededor de la celda genera un campo magnético homogéneo estático (campo C) en la celda.

30

Entonces, los átomos de metal alcalino, por ejemplo átomos de cesio, pueden excitarse o interrogarse por una onda de microondas que se propaga en la celda. En el contexto de la presente invención, la expresión "onda de microondas" indica una onda que presenta una frecuencia de entre 1 GHz y 30 GHz, preferentemente entre 3 GHz y 10 GHz.

35

La onda de microondas se produce por un sintetizador de frecuencia, sincronizado en fase a un oscilador local, por ejemplo un oscilador de cuarzo, que produce una frecuencia que es normalmente de 5 MHz o 10 MHz.

40

Cuando se elige la frecuencia de microondas de manera que corresponde a la frecuencia de la división hiperfina de estado fundamental de los átomos, se produce un cambio en el estado atómico, que puede detectarse por el sensor de luz. Esta señal se utiliza para sintonizar la frecuencia de oscilador local para que se mantenga resonante con los átomos.

45

Puede generarse una señal de error a partir de la resonancia utilizando detección de sincronización. Entonces, el oscilador local puede sincronizarse con la resonancia atómica y proporciona la salida de frecuencia del reloj atómico.

50

En un reloj atómico, la celda se calienta hasta aproximadamente 80°C: de hecho, a esta temperatura, átomos en fase de vapor en equilibrio con la fase líquida permiten una densidad relativa alta de átomos, y entonces es posible la observación de la resonancia atómica.

55

En los relojes atómicos conocidos, el dispositivo de calentamiento es una pieza suplementaria para añadir a las otras piezas que constituyen el reloj atómico. Entonces, el reloj atómico es engorroso, y su fabricación puede ser compleja.

60

El documento US5192921 (Westinghouse) describe en su figura 2 una hélice bifilar enrollada alrededor de una celda de un reloj atómico, que se utiliza tanto para calentar la celda como para interrogar sus átomos. Sin embargo, el reloj atómico descrito es difícil de fabricar, ya que es necesario sostener la celda y enrollar la hélice alrededor de la celda. Además, la hélice debe ser bifilar, para evitar la generación de un campo magnético longitudinal en la celda que pueda volver inestable el campo magnético en la celda. Además, el calentamiento de la celda no es homogéneo, ya que hay zonas de la celda que no están rodeadas por la hélice bifilar.

65

El documento US5192921 (Westinghouse) describe también en su figura 3 la utilización de un excitador de separación de LC alrededor de la celda. Este resonador de anillo partido bien conocido puede modelarse como un circuito LC en el que el bucle es un inductor y la separación es un condensador. Entonces, el excitador de separación de LC se forma y se dimensiona de manera que su inductancia y capacidad constituyen un circuito resonante correspondiente a la frecuencia de resonancia de la celda, para aprovechar el factor Q de la resonancia para reforzar la amplitud de la señal de microondas. Entonces, las dimensiones del resonador están predeterminadas. Además, se necesita un dispositivo de calentamiento independiente para calentar la celda.

Entonces, un objetivo de la presente invención es eliminar o mitigar una o más de las desventajas mencionadas anteriormente.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un dispositivo para un reloj atómico, que realice más de una función (por ejemplo, calentar e interrogar) y que pueda simplificar la fabricación del reloj atómico.

### Breve resumen de la invención

Según la invención, estos objetivos se logran por medio de un dispositivo para un reloj atómico según la reivindicación 1.

En tal disposición, la orientación del campo magnético (campo H) creado por esta señal de microondas presenta la misma dirección que el campo C creado por la bobina.

En el contexto de la presente invención, la expresión "placa de circuito impreso" (PCB) indica un sustrato no conductor en el que se colocan componentes electrónicos. Está colocada para que medios conductores, por ejemplo pistas conductoras, almohadillas, etc., puedan formarse en la misma, por ejemplo mediante grabado. Estos medios conductores conectan los componentes electrónicos colocados en la PCB.

En una forma de realización preferida, la fuente de calentamiento es un componente electrónico, por ejemplo un transistor o una resistencia, colocado en la placa de circuito impreso. En una primera variante, esta fuente de calentamiento está conectada a la pieza del dispositivo mediante pistas conductoras en la PCB. Como la pieza es conductora, rodea la celda y está directamente en contacto con la celda en por lo menos un punto, calienta la celda. La pieza según la invención actúa entonces como un dispositivo de calentamiento. En una forma de realización preferida, el grosor de la pieza es de más de 2 mm: en un caso de este tipo, la pieza aprovecha su masa para calentar de manera eficiente y homogénea la celda. En un caso de este tipo, el grosor de la pieza no está necesariamente determinado por la frecuencia de resonancia, sino por su función de calentamiento. El calentamiento de la celda mediante la utilización de la pieza del dispositivo según la invención es entonces más homogéneo que el calentamiento generado por la hélice bifilar conocida.

En una segunda variante, la fuente de calentamiento se suelda en una pista conductora que rodea la celda, tal como se comentará.

Según otra forma de realización, la fuente de calentamiento es una banda y/o un hilo en la superficie externa de la pieza. Esta banda o el hilo están dispuestos de manera que una corriente que circula en la banda o el hilo no induce un campo magnético longitudinal en la celda. En esta forma de realización, la fuente de calentamiento está en la pieza.

En otra forma de realización, la fuente de calentamiento comprende un devanado bifilar en la pieza, comprendiendo este devanado bifilar un primer hilo y un segundo hilo, y estando dispuesto para conducir simultáneamente una primera corriente en un primer sentido en el primer hilo, y una segunda corriente del mismo valor de la primera corriente, en un segundo sentido opuesto al primer sentido en el segundo hilo, para evitar la inducción de un campo magnético en la celda.

En una forma de realización preferida, la placa de circuito impreso comprende una pista conductora de pieza dispuesta alrededor de la pieza y conectada a la pieza, para conectar la pieza con otras pistas conductoras en la placa de circuito impreso, por ejemplo las pistas conductoras de calentamiento, etc. En una forma de realización preferida, la forma de la pista conductora de pieza corresponde a la sección de la pieza. En otra forma de realización preferida, las dimensiones de la pista conductora de pieza son mayores que las dimensiones de la sección de la pieza (por ejemplo, si la pieza es un cilindro hueco que presenta una sección circular y un diámetro de 5 mm, la pista conductora de pieza será un anillo que presenta un diámetro mayor de 5 mm, por ejemplo 6 mm). Entonces, la pieza se coloca en la pista conductora de pieza de la placa de circuito impreso.

En otra forma de realización, componentes electrónicos como el transistor, la resistencia, etc., se sueldan directamente en la pista conductora de pieza.

En una variante, la placa de circuito impreso del dispositivo según la invención comprende:

- un sensor de temperatura para detectar la temperatura de la pieza, y
- pistas conductoras de sensor para conectar el sensor de temperatura a la pieza.

5 El sensor de temperatura puede ser un componente electrónico como un termistor, por ejemplo un termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) o un termistor de coeficiente de temperatura positivo (PTC), colocado en la PCB y conectado a la pieza mediante pistas conductoras en la PCB. En una forma de realización preferida, las pistas conductoras de sensor están conectadas a la pieza mediante la pista conductora de pieza.

10 En una forma de realización, la altura de la pieza es menor de 10 mm, por ejemplo menor de 6 mm, por ejemplo 2 mm. En otra forma de realización, la anchura o el diámetro de la pieza es menor de 10 mm, por ejemplo menor de 6 mm, por ejemplo 2 mm.

15 En una forma de realización, la pieza está dispuesta de manera que su superficie interna presenta una forma dispuesta para contener una celda. En una forma de realización, la celda presenta una forma esférica: en un caso de este tipo, el espacio o la cavidad definido por las superficies internas de la pieza presentarán también una forma esférica.

20 En otra forma de realización, la sección de PCB es un cuadrado ( $n \times n$ ) o un rectángulo ( $n \times m$ ), en la que  $n$  y/o  $m$  están comprendidas entre 2 mm y 10 mm.

25 Ha de entenderse que la pieza del dispositivo según la invención no es un excitador de separación de LC, es decir no necesita trabajar en la resonancia. De hecho, la frecuencia de la señal de microondas enviada a la pieza no es necesariamente igual a la frecuencia de resonancia de la pieza, definiéndose la frecuencia de resonancia como  $1/(LC)$ , donde  $C$  es la capacidad dada por la separación de la pieza, y  $L$  la inductancia de la pieza. Dicho de otro modo, la forma y el tamaño de la pieza no están necesariamente predeterminados por la frecuencia de resonancia deseada, de manera que el fabricante de la pieza dispone de más grados de libertad para diseñar la pieza.

30 El dispositivo según la invención no sólo calienta la celda, sino que también interroga los átomos del gas en la celda. De hecho, medios conductores de microondas conectan la pieza a un generador de señal de microondas, para enviar a la pieza una señal de campo magnético de microondas longitudinal para interrogar los átomos del gas en la celda. En una forma de realización, los medios conductores de microondas comprenden uno o más hilos de unión. En otra forma de realización, los medios conductores de microondas comprenden una o más

35 pistas conductoras en la PCB del dispositivo según la invención.

El dispositivo según la invención no sólo realiza tanto el calentamiento como la interrogación de los átomos en la celda, sino que también es fácil de fabricar. Su fabricación comprende las siguientes etapas:

- 40
- colocar la pieza en la placa de circuito impreso,
  - colocar la celda en la pieza de manera que la pieza está directamente en contacto con la celda en por lo menos un punto.

45 Entonces, la celda puede fijarse, por ejemplo encolarse, en la placa de circuito impreso. La pieza también puede fijarse, por ejemplo mediante encolado o soldadura blanda, en la placa de circuito impreso.

50 En una forma de realización preferida, la parte de la placa de circuito impreso correspondiente a la cavidad de la pieza del dispositivo que contiene la celda comprende un orificio. De hecho, como la celda se fabrica en general de un material transparente, es decir de un material adaptado para permitir que la luz pase a través del mismo, la luz puede pasar a través de la celda y luego a través del orificio de la PCB, hacia el detector de luz. En otra forma de realización, la parte de la placa de circuito impreso correspondiente a la cavidad de la pieza del dispositivo para contener la celda no contiene ningún orificio y se fabrica de un material transparente.

55 Entonces, todos los elementos y componentes electrónicos, útiles para el funcionamiento del dispositivo, pueden colocarse fácilmente en la placa de circuito impreso, por ejemplo mediante técnicas de coger y colocar.

60 Ha de entenderse que la expresión "colocado en la PCB" no significa necesariamente "en la superficie de PCB que comprende la pieza según la invención". De hecho, también pueden colocarse componentes electrónicos, tal como se conocen, en la superficie opuesta a la que contiene la pieza, y conectarse a la pieza mediante orificios conductores (vías) de la PCB.

65 Tales componentes electrónicos pueden comprender un transistor colocado en la placa de circuito impreso y que actúa como fuente de calentamiento. Pistas conductoras en la placa de circuito impreso pueden conectar la pieza con el transistor.

Tales componentes electrónicos pueden comprender una resistencia colocada en la placa de circuito impreso y que actúa como fuente de calentamiento. Del mismo modo, pistas conductoras en la placa de circuito impreso pueden conectar la pieza con la resistencia.

5 Tales componentes electrónicos pueden comprender un sensor de temperatura para detectar la temperatura de la pieza, colocado en la placa de circuito impreso, y conectado a la pieza mediante otras pistas conductoras de la placa de circuito impreso.

10 Tales componentes electrónicos pueden comprender un módulo de control y medición de calentamiento de integración de circuito integrado dedicado colocado en la placa de circuito impreso, y conectado a la pieza mediante otras pistas conductoras de la placa de circuito impreso.

La presente invención también se refiere a un reloj atómico que comprende:

- 15 - el dispositivo según la invención,  
 - una celda en la pieza del dispositivo,  
 - una primera placa de circuito impreso que comprende una fuente de luz, por ejemplo un VCSEL, para  
 20 enviar luz al interior de la celda,  
 - una segunda placa de circuito impreso, que comprende por lo menos una parte de una bobina para generar un campo C en la celda,  
 25 - una tercera placa de circuito impreso que comprende un sensor de luz para detectar la luz generada por la fuente de luz y que pasa a través de la celda,  
 - un soporte.

30 Ventajosamente, el soporte es conductor, por ejemplo metálico, y está dispuesto de manera que la PCB del dispositivo según la invención, la primera placa de circuito impreso, la segunda placa de circuito impreso y la tercera placa de circuito impreso están alineadas en este soporte.

35 En el contexto de la presente invención, la expresión "están alineadas" indica que la PCB del dispositivo según la invención, la primera placa de circuito impreso, la segunda placa de circuito impreso y la tercera placa de circuito impreso están dispuestas en línea recta.

40 Esta línea recta puede ser horizontal, es decir sustancialmente paralela a una superficie plana que soporta el reloj atómico: en un caso de este tipo, el soporte contiene una o más patillas conductoras por PCB, para crear una conexión eléctrica y mecánica con cada PCB. Entonces, las PCB se colocan verticalmente en el soporte y se conectan eléctrica y mecánicamente con el mismo mediante las patillas. La distancia entre dos PCB consecutivas está comprendida entre 1 mm y 5 mm.

45 Esta línea recta puede ser vertical, es decir sustancialmente perpendicular a una superficie plana que soporta el reloj atómico, de manera que las PCB se apilan en el soporte.

Todas las PCB del reloj atómico pueden presentar la misma forma y tamaño. Su sección puede ser un cuadrado ( $n \times n$ ) o un rectángulo ( $n \times m$ ), en el que  $n$  y/o  $m$  están comprendidas entre 2 mm y 10 mm.

50 El reloj atómico puede comprender además una tapa que actúa conjuntamente con el soporte y que cierra herméticamente las PCB en el soporte.

55 La sección del soporte puede ser un rectángulo  $p \times q$ , en el que  $p$  es menor de 3 cm y  $q$  menor de 2 cm. En una forma de realización preferida, la sección del soporte es un rectángulo de 2 cm  $\times$  1 cm.

60 Es necesario que la fuente de luz del reloj atómico según la invención se caliente y se mantenga también a una temperatura particular. Según un aspecto independiente de la invención, la primera placa de circuito impreso que comprende una fuente de luz, por ejemplo un VCSEL, para enviar luz al interior de la celda, se calienta mediante una fuente conductora como un transistor colocado en esta primera PCB y conectado al láser mediante pistas conductoras o mediante unión. La primera PCB puede comprender una pista conductora en la que se coloca el láser. La pista conductora puede presentar una forma correspondiente a la sección del láser.

La presente invención también se refiere a un procedimiento de fabricación del reloj atómico que comprende,

- 65 - colocar el dispositivo según la invención en el soporte,

- colocar la primera placa de circuito impreso en el soporte,
- colocar la segunda placa de circuito impreso en el soporte,
- 5 - colocar la tercera placa de circuito impreso en el soporte

estando alineadas en este soporte la PCB del dispositivo, la primera placa de circuito impreso, la segunda placa de circuito impreso y la tercera placa de circuito impreso.

## 10 Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá mejor con la ayuda de la descripción de una forma de realización dada a modo de ejemplo e ilustrada por las figuras, en las que:

15 La figura 1 muestra una vista prospectiva de una forma de realización de un dispositivo según la invención.

La figura 2 muestra una vista superior del dispositivo de la figura 1.

20 La figura 3 muestra una vista prospectiva de otra forma de realización de un dispositivo según la invención.

La figura 4 muestra una vista en perspectiva de una forma de realización de un reloj atómico según la invención.

25 La figura 5 muestra una vista superior de otra forma de realización de un reloj atómico según la invención.

La figura 6 muestra una vista esquemática de otra forma de realización de un reloj atómico según la invención.

## Descripción detallada de posibles formas de realización de la invención

30 La figura 1 muestra una vista prospectiva de una forma de realización de un dispositivo 1 según la invención. Comprende una placa de circuito impreso (PCB) 20, en la que está colocada una pieza 10 conductora, fabricada por ejemplo de Cu, Al, una aleación metálica, etc. La pieza 10 conductora en esta forma de realización es un paralelepípedo hueco que presenta una sección cuadrada. Comprende un intersticio 11, que es necesario para evitar cortocircuitos. Presenta una forma diseñada de manera que define un espacio o cavidad 18 interno  
35 dispuesto para contener una celda (no representada), y para estar directamente en contacto con la celda en por lo menos un punto. En una forma de realización preferida, toda la superficie interna 14 de la pieza 10 está en contacto con la celda.

40 Debe entenderse que las dimensiones y/o proporciones de los diferentes elementos ilustrados en las figuras son aproximadas, y no corresponden necesariamente a las dimensiones y/o proporciones reales de estos elementos. Por ejemplo, la superficie de la PCB 20 puede ser menor que la superficie representada en las figuras 1 a 3. En una forma de realización preferida, el diámetro o la anchura de la pieza 10 es aproximadamente la mitad de la longitud del lado de una PCB cuadrada 20.

45 Ventajosamente, la pieza 10 conductora permite tanto interrogar como calentar un gas en la celda.

De hecho, el dispositivo según la invención comprende una fuente de calentamiento 60 para generar calor, y conectarse a la pieza. En la forma de realización ilustrada, la fuente de calentamiento es un transistor 60  
50 colocado en la PCB 20, alimentada por pistas conductoras 66 en la PCB 60 y conectada a la pieza 10.

Tal como se ilustra en la figura 2, la pieza 10 está colocada en una pista conductora de pieza 30 de la PCB que presenta una sección correspondiente a la sección de la pieza 10, un cuadrado en este ejemplo. El transistor 60 está soldado directamente en esta pista conductora de pieza 30. Entonces, cuando se alimenta el transistor, el calor generado (algunos mW) se transfiere a la celda en la pieza 10 mediante la pista conductora de pieza 30 y la  
55 pieza 10 conductora.

De hecho, como la pieza 10 es conductora, rodea la celda y está directamente en contacto con la celda en por lo menos un punto, calienta la celda. La pieza 10 según la invención actúa entonces como dispositivo de  
60 calentamiento.

En una forma de realización preferida, el grosor de la pieza e, visible en la figura 1, es de más de 1 mm: en un caso de este tipo, la pieza 10 aprovecha su masa para calentar de manera eficiente y homogénea la celda. Dicho de otro modo, el grosor de la pieza no está necesariamente determinado por la frecuencia de resonancia, sino  
65 por su función de calentamiento. El calentamiento de la celda mediante la utilización la pieza 10 del dispositivo según la invención es entonces más homogéneo que el calentamiento generado por la hélice bifilar conocida.

En otra variante (no ilustrada), el transistor 60 no está directamente soldado en la pista conductora 30, sino que está conectado a la pieza 10, en particular a su pista conductora 30, mediante pistas conductoras dedicadas.

5 Ha de entenderse que el transistor 60 puede reemplazarse por cualquier otro componente electrónico que pueda generar calor cuando se alimenta, y dispuesto para colocarse en una PCB como, por ejemplo, una resistencia.

En la variante de las figuras 1 y 2, la placa de circuito impreso 20 del dispositivo según la invención comprende:

- 10
- un sensor de temperatura 50 para detectar la temperatura de la pieza 10, y
  - por lo menos una pista conductora de sensor 52 para conectar el sensor de temperatura 50 a la pieza 10.

15 El sensor de temperatura 50 se alimenta mediante pistas conductoras 56 en la PCB 20.

En una variante, el sensor de temperatura 50 puede soldarse directamente en la pista conductora de pieza 30, como para la fuente de calentamiento 60.

20 En la forma de realización ilustrada, el sensor de temperatura 50 es un termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) colocado en la PCB 20. También puede utilizarse un termistor de coeficiente de temperatura positivo (PTC).

25 Los hilos de unión 12 en las figuras 1 y 2 son medios 12 conductores de microondas dispuestos para conectar la pieza 10 a una fuente de microondas (no ilustrada) para enviar a la pieza 10 una señal de microondas para interrogar los átomos del gas en la celda. En la forma de realización ilustrada, los medios 12 conductores de microondas están conectados a una patilla 102, que está conectada a una fuente de microondas, tal como se comentará.

30 Ha de entenderse que la pieza 10 no es un excitador de intersticio de LC, es decir no necesita trabajar en la resonancia. De hecho, la frecuencia de la señal de microondas enviada a la pieza 10 mediante los medios 12 conductores de microondas no es igual a la frecuencia de resonancia de la pieza 10, definiéndose la frecuencia de resonancia como  $1/(LC)$ , donde C es la capacidad dada por el intersticio de la pieza, y L la inductancia de la pieza. Dicho de otro modo, la forma y el tamaño de la pieza 10 no están predeterminados por la frecuencia de resonancia deseada, de manera que el fabricante de la pieza dispone de más grados de libertad disponibles para diseñar la pieza 10.

35 En la forma de realización de las figuras 1 y 2, la pieza 10 está dispuesta de manera que su superficie interna 14 presenta una forma dispuesta para contener una celda. Dicho de otro modo, el espacio o la cavidad 18 definido por las superficies internas 14 de la pieza 10 corresponde a la forma de la celda.

40 La figura 3 muestra una vista prospectiva de otra forma de realización de un dispositivo 1 según la invención. En un caso de este tipo, la pieza 10 conductora es un cilindro hueco que presenta una sección circular de diámetro d. Además, en esta forma de realización, la fuente de calentamiento es una banda y/o un hilo 40 en la superficie externa 16 de la pieza 10. Esta banda o el hilo 40 están dispuestos de manera que una corriente que circula en la banda o el hilo induce un campo magnético total en la celda que es nulo.

45 En otra forma de realización (no ilustrada), la fuente de calentamiento comprende un devanado bifilar en la pieza, estando dispuesto este devanado bifilar para evitar la inducción de un campo magnético en la celda. En particular, el devanado bifilar comprende un primer hilo y un segundo hilo, y está dispuesto para conducir simultáneamente una primera corriente en un primer sentido en el primer hilo, y una segunda corriente del mismo valor de la primera corriente, en un segundo sentido opuesto al primer sentido en el segundo hilo. Las corrientes primera y segunda, que presentan el mismo valor pero sentidos opuestos, varían en función de la temperatura.

50 En otra forma de realización (no ilustrada), uno del primer o segundo hilo del devanado bifilar está dispuesto para conducir también una tercera corriente, que presenta un valor menor que el valor de las corrientes primera y segunda, utilizándose esta tercera corriente para generar el campo C en la celda. Al estabilizar electrónicamente esta tercera corriente, es posible conseguir un campo magnético estable en caso de cambios de corriente de calentamiento debidos a cambios de temperatura.

55 La pieza del dispositivo según la invención es un cilindro hueco, por ejemplo un cilindro circular o elíptico, o un prisma hueco, por ejemplo un paralelepípedo.

60 La altura h de la pieza 10, visible en la figura 3, es menor de 10 mm, por ejemplo menor de 6 mm, por ejemplo 2 mm. En otra forma de realización, la anchura o diámetro d de la pieza 10 es menor de 10 mm, por ejemplo menor de 6 mm, por ejemplo 2 mm.

65

En otra forma de realización, la sección de PCB es un cuadrado ( $n \times n$ ) o un rectángulo ( $n \times m$ ), en el que  $n$  y/o  $m$  están comprendidas entre 5 mm y 10 mm.

5 Ventajosamente, el dispositivo 1 según la invención es fácil de fabricar. Las etapas de su fabricación comprenden:

- colocar la pieza 10 en la placa de circuito impreso 20,
- 10 - colocar la celda en la pieza, es decir en su espacio o cavidad 18, de manera que la pieza 10 está directamente en contacto con la celda en por lo menos un punto.

La colocación de la pieza 10 en la placa de circuito impreso 20 puede realizarse manualmente (por ejemplo, a mano) o automáticamente (por ejemplo, mediante técnicas de coger y colocar).

15 La celda puede fijarse, por ejemplo encolarse, en la placa de circuito impreso 20. La pieza 10 también puede fijarse, por ejemplo soldarse, en la placa de circuito impreso 20.

Los componentes electrónicos como el transistor o la resistencia 60, el termistor 50, etc. pueden colocarse fácilmente en la placa de circuito impreso 20, por ejemplo mediante técnicas de coger y colocar.

20 En una forma de realización preferida, la pieza 10 se coloca junto con otros componentes electrónicos (por ejemplo, el transistor 60 y/o el sensor de temperatura 50) en la PCB 20, por ejemplo mediante técnicas de coger y colocar. Tras esta colocación, el dispositivo 1 se calienta para soldar la pieza 10 y los componentes electrónicos en la PCB 20. Tras este calentamiento, la celda 2 se coloca en la pieza 10 y luego se fija a la pieza 10 y/o a la PCB 20, por ejemplo mediante encolado.

La figura 4 muestra una vista en perspectiva de una forma de realización de un reloj atómico según la invención. Comprende:

- 30 - el dispositivo según la invención (representado esquemáticamente sólo por su PCB 20),
- una primera placa de circuito impreso 24 que comprende una fuente de luz (no ilustrada), por ejemplo un VCSEL, para enviar luz al interior de la celda,
- 35 - una segunda placa de circuito impreso 22, que comprende por lo menos una parte de una bobina (no ilustrada) para generar un campo  $C$  en la celda,
- una tercera placa de circuito impreso 26 que comprende un sensor de luz (no ilustrado) para detectar la luz generada por la fuente de luz y que pasa a través de la celda,
- 40 - un soporte 100.

Ventajosamente, el soporte 100 es conductor, por ejemplo metálico, y está dispuesto de manera que las PCB 20, 22, 24 y 26 están alineadas en este soporte 100, es decir están dispuestas en línea recta.

45 En otra forma de realización, el reloj atómico comprende otra PCB (no ilustrada) en el soporte 100, estando colocada esta PCB entre la primera placa de circuito impreso 24 que comprende una fuente de luz y la PCB 20 que comprende un atenuador de luz, para atenuar la luz de la fuente de luz antes de enviarla a la celda 2 de la PCB 20. En una forma de realización preferida, este atenuador de luz es parcialmente transparente, es decir permite el paso sólo de una parte de la luz recibida.

55 En la forma de realización de las figuras 4 y 5, esta línea recta es horizontal, es decir sustancialmente paralela a una superficie plana que soporta el reloj atómico: en un caso de este tipo, el soporte contiene por lo menos dos patillas 102 conductoras por PCB, para crear una conexión eléctrica y mecánica con cada PCB. Entonces, las PCB se colocan verticalmente en el soporte y se conectan eléctrica y mecánicamente con el mismo mediante las patillas. La distancia entre dos PCB consecutivas está comprendida entre 1 mm y 5 mm, preferentemente 2 mm.

En otra forma de realización (no ilustrada), esta línea recta es vertical, es decir sustancialmente perpendicular a una superficie plana que soporta el reloj atómico, de manera que las PCB se apilan en el soporte.

60 En una forma de realización preferida, todas las PCB presentan la misma forma y tamaño. Su sección puede ser un cuadrado ( $n \times n$ ) o un rectángulo ( $n \times m$ ), en la que  $n$  y/o  $m$  están comprendidas entre 2 mm y 10 mm.

65 En otra forma de realización preferida, el reloj atómico comprende además una tapa (no ilustrada) que actúa conjuntamente con el soporte 100 y cierra herméticamente las PCB 20, 22, 24 y 16 en el soporte 100.



En una forma de realización preferida, la sección del soporte 100, visible en la figura 5, es un rectángulo  $p \times q$ , en el que  $p$  es menor de 3 cm y  $q$  menor de 2 cm. En una forma de realización preferida,  $p$  es 2 cm y  $q$  es 1 cm.

5 La figura 5 muestra una vista superior de otra forma de realización de un reloj 1000 atómico según la invención. En la forma de realización ilustrada son visibles 14 patillas 102, pero, por supuesto, puede utilizarse cualquier otro número de patillas.

Las patillas 102 pueden conducir por lo menos algunas de las siguientes señales:

- 10
- señal de accionamiento de láser
  - señal de calentamiento por láser
  - señal de temperatura de láser
  - señal de sensor de temperatura de láser
- 15
- primera señal de campo C
  - segunda señal de campo C
  - señal de temperatura de pieza
  - señal de calentamiento de pieza
  - señal de sensor de temperatura de pieza
- 20
- primera señal de fotodiodo
  - segunda señal de fotodiodo
  - señal de microondas
  - tierra.

25 La figura 6 muestra una vista esquemática de un reloj 1000 atómico, que comprende el soporte 100, un módulo de detección de luz 200, un microcontrolador 300, un módulo de regulación de temperatura de celda 400, un módulo de regulación de temperatura de fuente de luz 500, un módulo de sincronización 600, un oscilador 700 de cuarzo (por ejemplo un VCTCXO), una FPGA y un oscilador local (LO).

30 En el reloj atómico ilustrado, la luz de la fuente de luz (láser) puede modularse, por ejemplo modulando la corriente del módulo de accionamiento de láser 800.

El soporte 100 comprende la primera PCB 24, que comprende la fuente de luz 240, por ejemplo un VCSEL, un sensor de temperatura 54 y una fuente de calentamiento 64.

35 La primera PCB 24 está dispuesta para recibir una señal desde el módulo de accionamiento de láser 800, y para presentar una comunicación bidireccional con el módulo de regulación de temperatura de VCSEL 500.

40 Según un aspecto independiente de la invención, la fuente de calentamiento 64 del láser 240 es un transistor o una resistencia colocada en la PCB 24 y conectada al láser 240 mediante pistas conductoras en la PCB 24 o mediante unión. La PCB 24 puede comprender una pista conductora en la que se coloca el láser 240. La pista conductora puede presentar una forma correspondiente a la sección del láser.

45 La PCB 20 comprende la pieza 10 según la invención, y conteniendo la celda 2, una fuente de calentamiento 40, 60 y un sensor de temperatura 50. Una bobina 220 representada esquemáticamente está dispuesta para generar un campo C en la celda 2.

50 La PCB 20 está dispuesta para recibir una señal desde el módulo de LO 800 mediante los medios conductores de microondas, y para presentar una comunicación bidireccional con el módulo de regulación de temperatura de celda 400.

Una interfaz 302 de control en el microcontrolador 300 envía una señal de campo C a la bobina 220.

55 Un detector 260 de luz detecta las luces desde la celda 2, y envía una señal al módulo de detección de luz 200. El módulo de detección de luz 200 envía entonces una señal de intensidad de luz y una señal de modulación al microcontrolador 300. El módulo de detección de luz 200 también comunica una señal al módulo de sincronización 600, de un modo conocido.

60 El microcontrolador 300 comprende un módulo de bucle de frecuencia 304, que actúa conjuntamente con el LO y con el oscilador 700 de cuarzo de un modo conocido.

La presente invención también se refiere a un procedimiento de fabricación del reloj atómico que comprende,

- colocar el dispositivo 1 según la invención en el soporte 100,
- 65 - colocar la primera placa de circuito impreso 24 en el soporte 100,

- colocar la segunda placa de circuito impreso 22 en el soporte 100,
- colocar la tercera placa de circuito impreso 26 en el soporte 100,

5 estando alineadas la PCB 20 del dispositivo, la primera placa de circuito impreso 24, la segunda placa de circuito impreso 22 y la tercera placa de circuito impreso 26 en este soporte 100.

Entonces, la fabricación del reloj atómico es más simple y más rápida que las soluciones conocidas.

10 En una forma de realización preferida, el microcontrolador 300 y/o la regulación de temperatura de celda 400 y/o la regulación de temperatura de fuente de luz 500 y/o la FPGA y/o el LO y/o el módulo de sincronización 200 y/o el módulo de detección de luz 600 y/o el oscilador 700 de cuarzo y/o el módulo de accionamiento de láser 800 pueden colocarse como componentes electrónicos (circuitos integrados) en una PCB principal (no ilustrada) colocada por debajo del soporte 100 ilustrado en la figura 4. En un caso de este tipo, las patillas 102 pueden soldarse en esta PCB principal.

15 Dicho de otro modo, en esta forma de realización el soporte 100 y la tapa que actúa conjuntamente con el soporte 100 y cierra herméticamente las PCB 20, 22, 24 y 16 en el soporte 100, comprende la parte física del reloj atómico, y la parte electrónica del reloj atómico se coloca bajo esta parte física en la PCB principal. La conexión entre la parte física y la parte electrónica se realiza mediante las patillas 102.

20 La tapa cierra las PCB 20, 22, 24 y 16, es decir la parte física del reloj atómico, en el soporte 100 de un modo sellado, de manera que puede crearse el vacío en el interior, o es posible llenarla con algún gas que presente una conductividad térmica débil.

25 Entonces, en una variante de este tipo, las patillas 102 del soporte 100 están dispuestas para conectar la primera placa de circuito impreso 24 y/o la segunda placa de circuito impreso 22 y/o la tercera placa de circuito impreso 26 en el soporte 100. También están dispuestas para conectar la primera placa de circuito impreso 24 y/o la segunda placa de circuito impreso 22 y/o la tercera placa de circuito impreso 26 con la placa de circuito impreso principal.

30 El procedimiento de fabricación de un reloj atómico según la invención, puede comprender entonces además las siguientes etapas:

- 35 - colocar el microcontrolador 300 y/o la regulación de temperatura de celda 400 y/o la regulación de temperatura de fuente de luz 500 y/o la FPGA y/o el LO y/o el módulo de sincronización 200 y/o el módulo de detección de luz 600 y/o el oscilador 700 de cuarzo y/o el módulo de accionamiento de láser 800 en la placa de circuito impreso principal;
- 40 - colocar la placa de circuito impreso principal bajo el soporte 100;
- conectar la primera placa de circuito impreso 24 y/o la segunda placa de circuito impreso 22 y/o la tercera placa de circuito impreso 26 con la placa de circuito impreso principal mediante la utilización de las patillas 102 del soporte 100.

45

#### Números de referencia utilizados en las figuras

	1	Dispositivo
	2	Celda
50	10	Pieza
	12	Medios conductores de microondas
	14	Superficie interna de la pieza
	16	Superficie externa de la pieza
	18	Espacio
55	20	PCB del dispositivo
	22	Segunda PCB
	24	Primera PCB
	26	Tercera PCB
	30	Pista conductora de pieza
60	40	Fuente de calentamiento (hilo/banda) (pieza)
	50	Sensor de temperatura (pieza)
	52	Pistas conductoras de sensor
	54	Sensor de temperatura (láser)
	60	Fuente de calentamiento (transistor/resistencia) (pieza)
65	62	Pistas conductoras de calentamiento/soldadura
	64	Fuente de calentamiento (láser)

## ES 2 703 115 T3

	56, 66	Pistas conductoras
	100	Soporte
	102	Patilla
5	200	Módulo de sincronización
	220	Bobina
	240	Fuente de luz (VCSEL)
	260	Sensor de luz
	300	Microcontrolador
	302	Módulo de interfaz de control
10	304	Módulo de bucle de sincronización de frecuencia
	400	Regulación de temperatura de celda
	500	Regulación de temperatura de fuente de luz
	600	Módulo de detección de luz
	700	Oscilador de cuarzo (VCTCXO)
15	800	Módulo de accionamiento de láser
	1000	Reloj atómico
	e	Grosor de la pieza
	h	Altura de la pieza
	d	Diámetro de la pieza
20	LO	Oscilador local
	FPGA	Matriz de puertas programable en campo
	DAC	Convertidor de digital a analógico
	ADC	Convertidor de analógico a digital

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (1) para un reloj atómico, comprendiendo el dispositivo:

- 5 - una placa de circuito impreso (20), comprendiendo dicha placa de circuito impreso (20) una pieza (10) conductora tanto para interrogar como para calentar un gas en una celda de un reloj atómico, comprendiendo la pieza (10) un intersticio (11), y estando dispuesta para contener la celda (2), y para estar directamente en contacto con la celda (2) en por lo menos un punto,
- 10 - una fuente de calentamiento (40, 60) para generar calor, y dispuesta para conectarse a la pieza (20),
- unos medios (12) conductores de microondas dispuestos para conectarse a la pieza (10) para enviar a la pieza (10) una señal de microondas para interrogar los átomos del gas en la celda (2), estando dispuesta la pieza (10) para definir un cilindro hueco, por ejemplo un cilindro circular o elíptico, o un prisma hueco,
- 15 por ejemplo un paralelepípedo,

caracterizado por que

20 la frecuencia de la señal de microondas es diferente de la frecuencia de resonancia de la pieza (10), definiéndose la frecuencia de resonancia como  $1/(LC)$ , donde C es la capacidad dada por el intersticio (11) de la pieza (10), y L la inductancia de la pieza (10).

2. Dispositivo según la reivindicación 1, comprendiendo la placa de circuito impreso (20)

- 25 - dicha fuente de calentamiento (60), y
- medios conductores de calentamiento para conectar la fuente de calentamiento con la pieza (10).

30 3. Dispositivo según la reivindicación 2, siendo dicha fuente de calentamiento (60) un transistor y/o una resistencia, y/o comprendiendo dichos medios conductores de calentamiento por lo menos una pista conductora de calentamiento.

35 4. Dispositivo según la reivindicación 1, siendo dicha fuente de calentamiento una banda y/o un hilo (40) en la pieza (10).

5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, comprendiendo la placa de circuito impreso (20)

- 40 - una pista conductora de pieza (30) dispuesta alrededor de la pieza (10) para conectar la pieza (10) con por lo menos otra pista conductora (52) de la placa de circuito impreso (20).

6. Dispositivo según la reivindicación 5, en el que la pista conductora de pieza (30) presenta una forma correspondiente a la sección de la pieza (10).

45 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo la placa de circuito impreso (20)

- un sensor de temperatura (50) para detectar la temperatura de la pieza (10), y
- por lo menos una pista conductora de sensor (52) para conectar el sensor de temperatura (50) a la pieza (10).
- 50

8. Procedimiento de fabricación del dispositivo (1) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

- colocar la pieza (10) en una placa de circuito impreso (20),
- 55 - colocar una celda (2) en la pieza (10) de manera que la pieza (10) está directamente en contacto con la celda (2) en por lo menos un punto,
- conectar una fuente de calentamiento (40, 60) a la pieza (10),
- 60 - conectar medios (12) conductores de microondas a la pieza (10).

9. Reloj atómico que comprende:

- 65 - el dispositivo (1) según una de las reivindicaciones 1 a 7,
- una celda (2) en la pieza (10) del dispositivo (1),

- una primera placa de circuito impreso (24) que comprende una fuente de luz (240) para enviar luz al interior de la celda (2),
- 5 - una segunda placa de circuito impreso (22), que comprende por lo menos una parte de una bobina (220) para generar un campo C en la celda (2),
- una tercera placa de circuito impreso (26), que comprende un sensor de luz (180),
- 10 - un soporte (100)

estando alineadas la placa de circuito impreso (20) del dispositivo (1), la primera placa de circuito impreso (24), la segunda placa de circuito impreso (22), la tercera placa de circuito impreso (18) en dicho soporte (100).

15 10. Reloj atómico según la reivindicación 9, que comprende además una cuarta placa de circuito impreso dispuesta para colocarse bajo el soporte (100), y para contener un microcontrolador (300) y/o una regulación de temperatura de celda (400) y/o una regulación de temperatura de fuente de luz (500) y/o una FPGA y/o un LO y/o un módulo de sincronización (200) y/o un módulo de detección de luz (600) y/o un oscilador (700) de cuarzo y/o un módulo de accionamiento de láser (800).

20 11. Reloj atómico según la reivindicación 10, comprendiendo el soporte (100) por lo menos una patilla (102) dispuesta para conectar la primera placa de circuito impreso (24) y/o la segunda placa de circuito impreso (22) y/o la tercera placa de circuito impreso (26) en el soporte (100)

25 12. Reloj atómico según la reivindicación 11, estando dispuesta la por lo menos una patilla (102) para conectar la primera placa de circuito impreso (24) y/o la segunda placa de circuito impreso (22) y/o la tercera placa de circuito impreso (26) con dicha cuarta placa de circuito impreso.

30 13. Procedimiento de fabricación del reloj atómico según una de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende,

- colocar el dispositivo (1) según una de las reivindicaciones 1 a 7 en el soporte (100),
- colocar la primera placa de circuito impreso (24) en el soporte (100),
- 35 - colocar la segunda placa de circuito impreso (22) en el soporte (100),
- colocar la tercera placa de circuito impreso (26) en el soporte (100), estando alineadas la placa de circuito impreso (20) del dispositivo (1), la primera placa de circuito impreso (24), la segunda placa de circuito impreso (22), la tercera placa de circuito impreso (26) en dicho soporte (100).

40 14. Procedimiento según la reivindicación 13, que comprende además

- colocar el microcontrolador (300) y/o la regulación de temperatura de celda (400) y/o la regulación de temperatura de fuente de luz (500) y/o la FPGA y/o el LO y/o el módulo de sincronización (200) y/o el módulo de detección de luz (600) y/o el oscilador (700) de cuarzo y/o el módulo de accionamiento de láser (800) en una cuarta placa de circuito impreso;
- colocar dicha cuarta placa de circuito impreso bajo el soporte (100);
- 50 - conectar la primera placa de circuito impreso (24) y/o la segunda placa de circuito impreso (22) y/o la tercera placa de circuito impreso (26) con dicha cuarta placa de circuito impreso utilizando las patillas (102) del soporte (100).

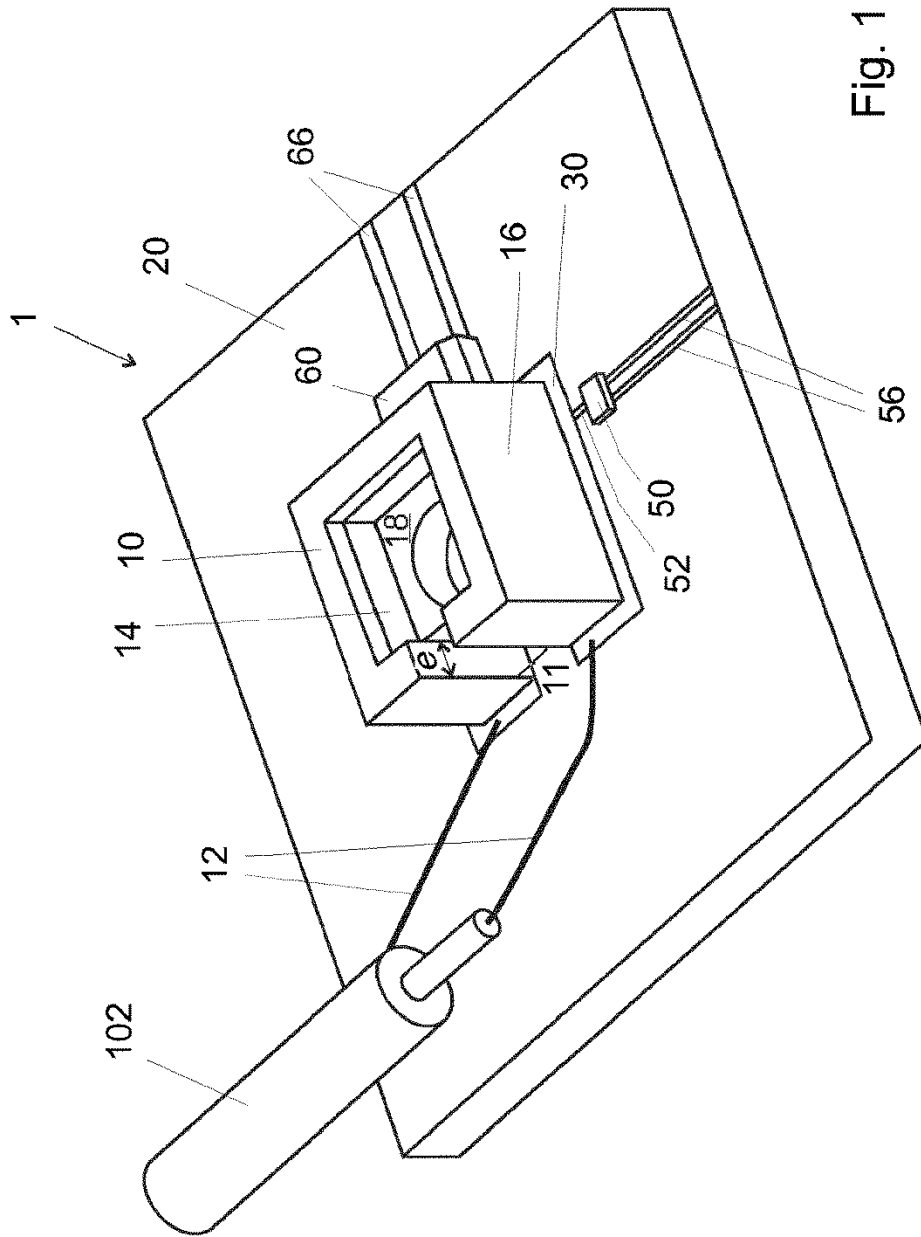


Fig. 1

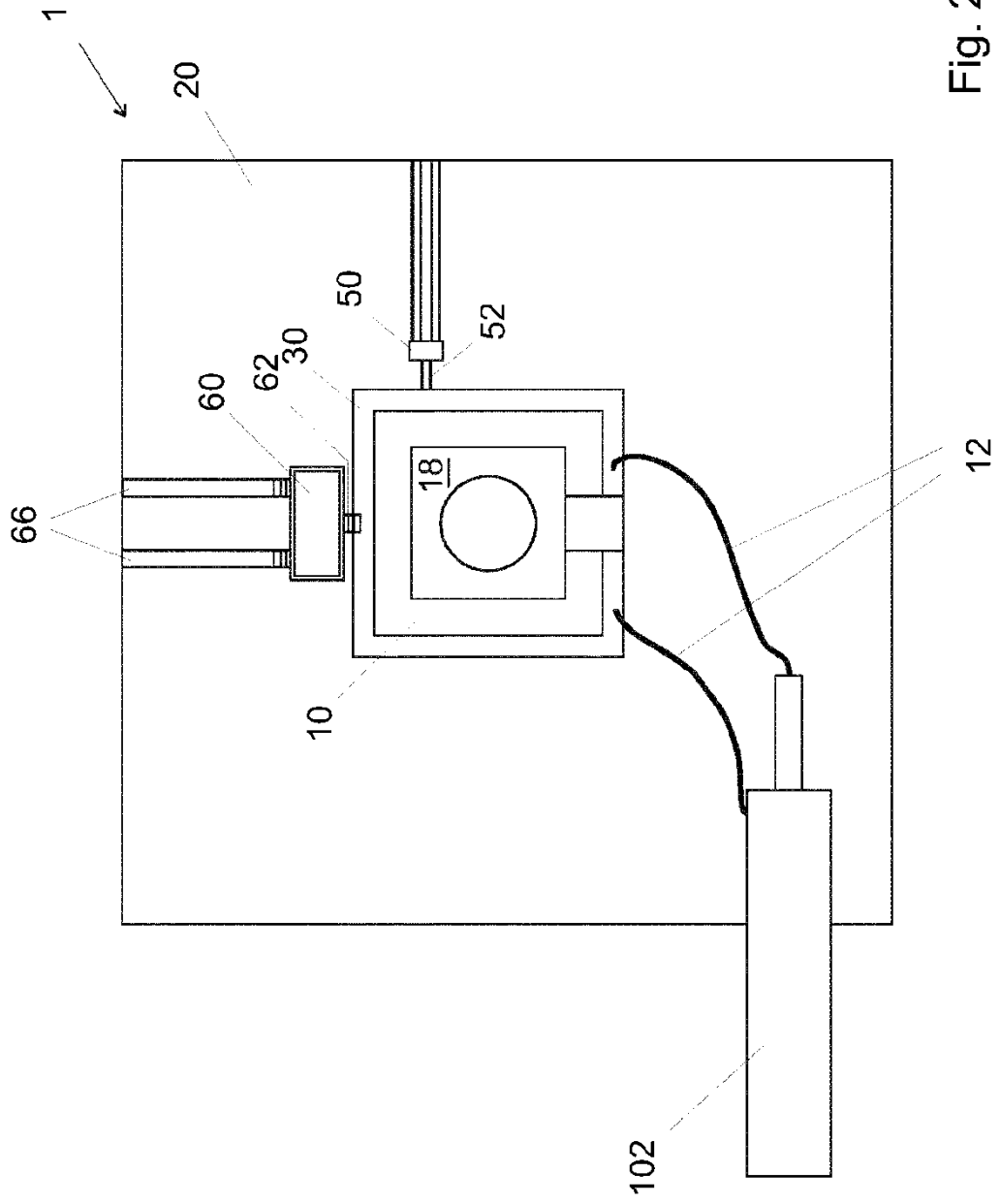


Fig. 2

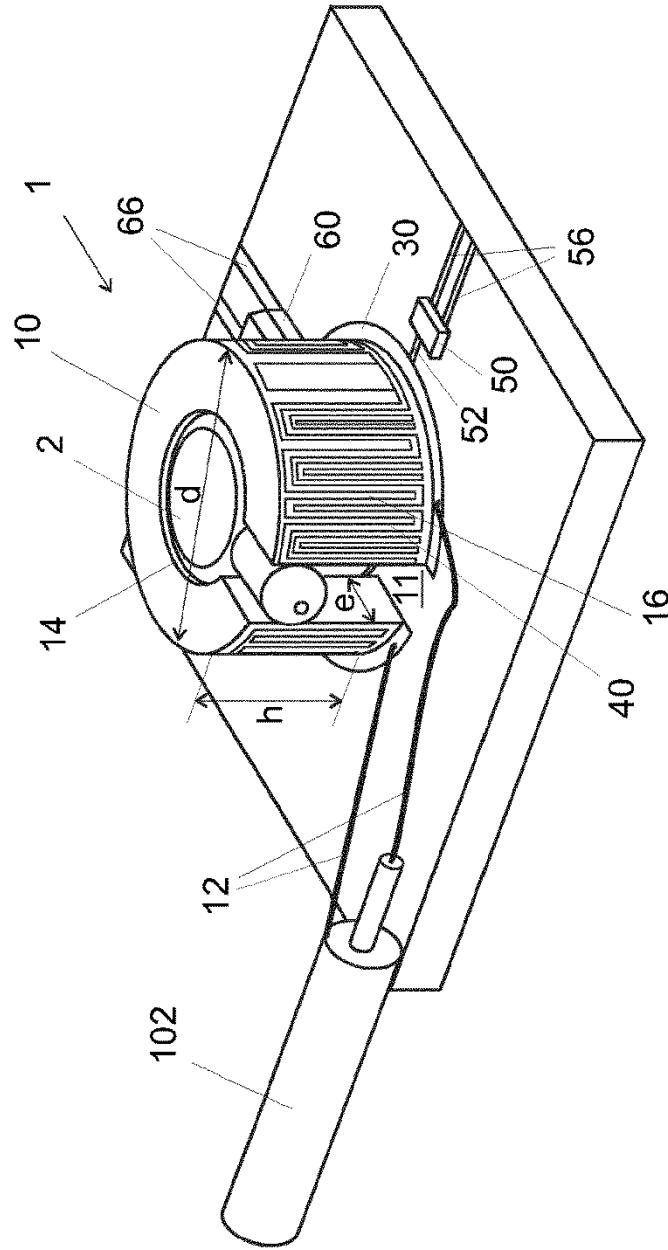


Fig. 3



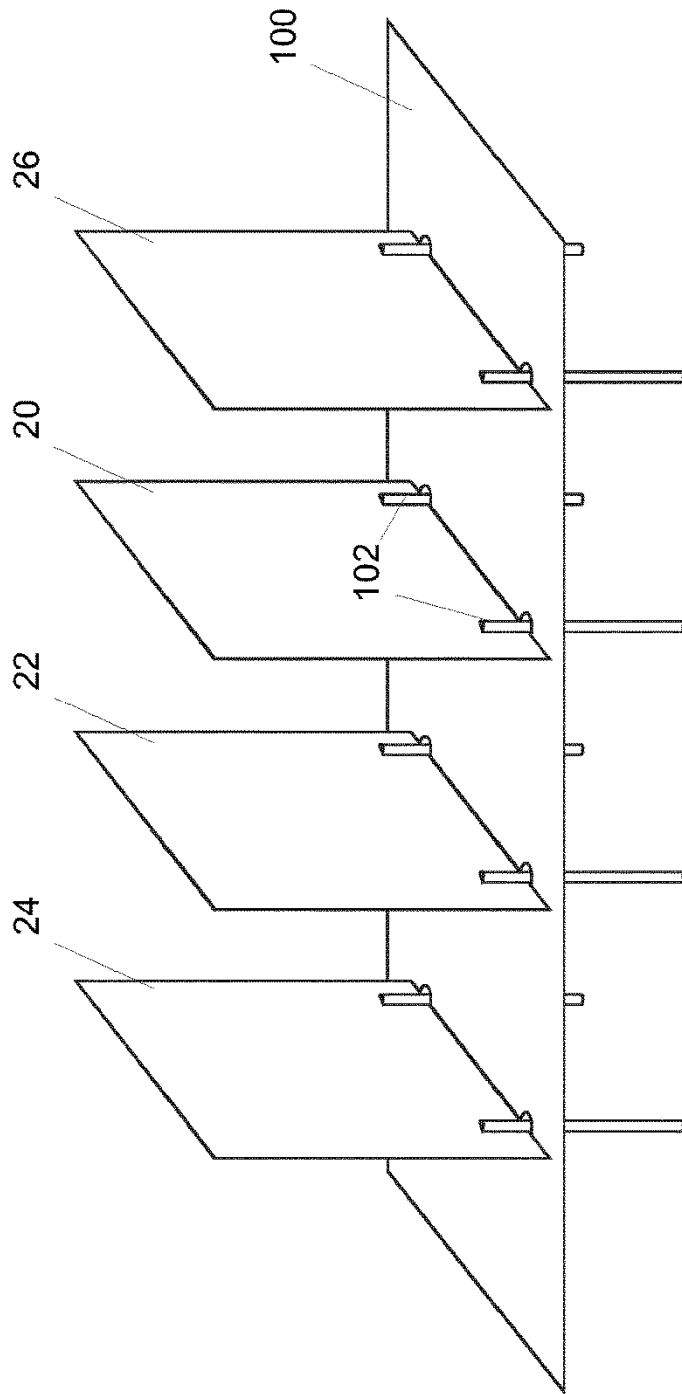


Fig. 4

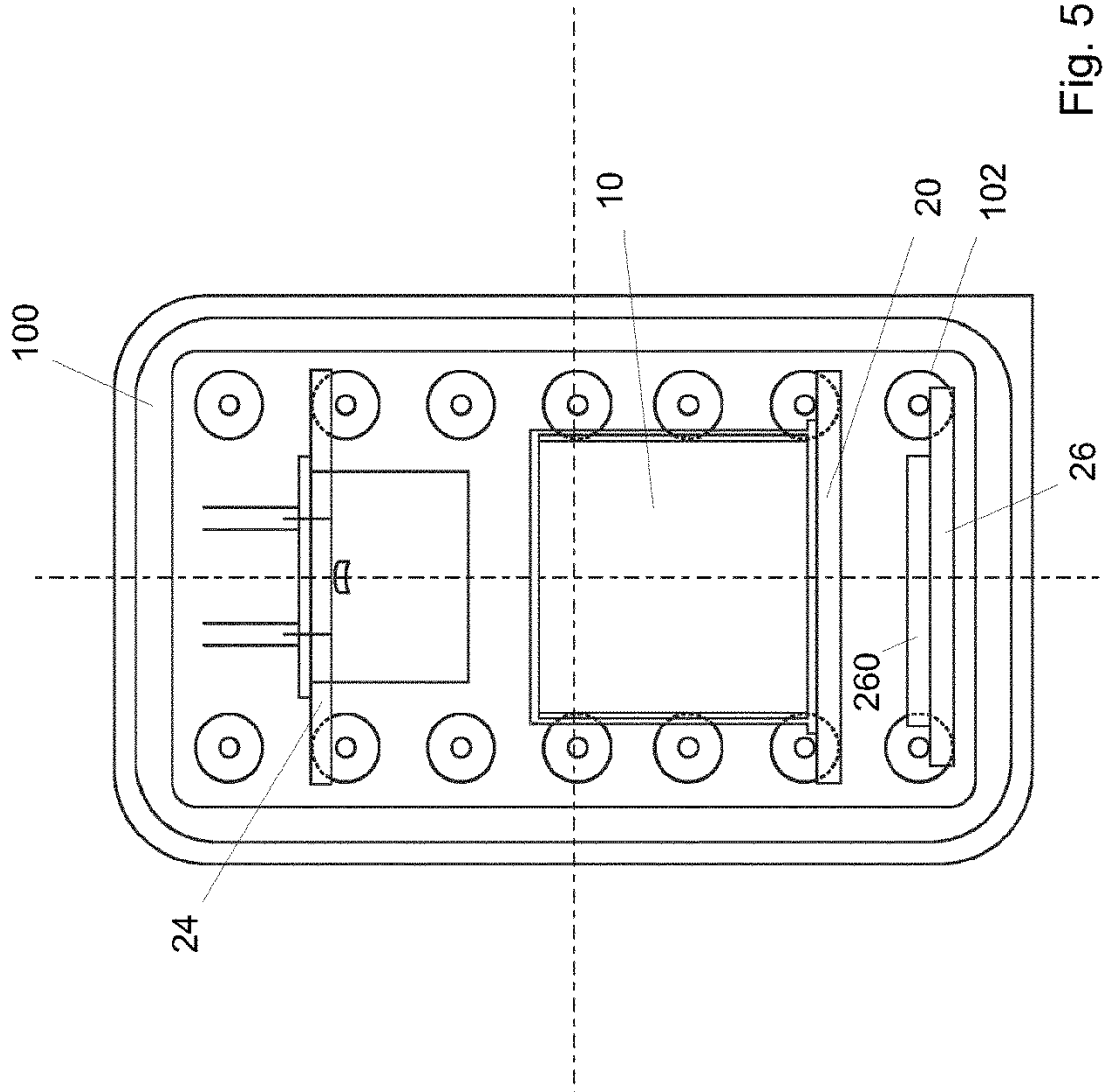


Fig. 5

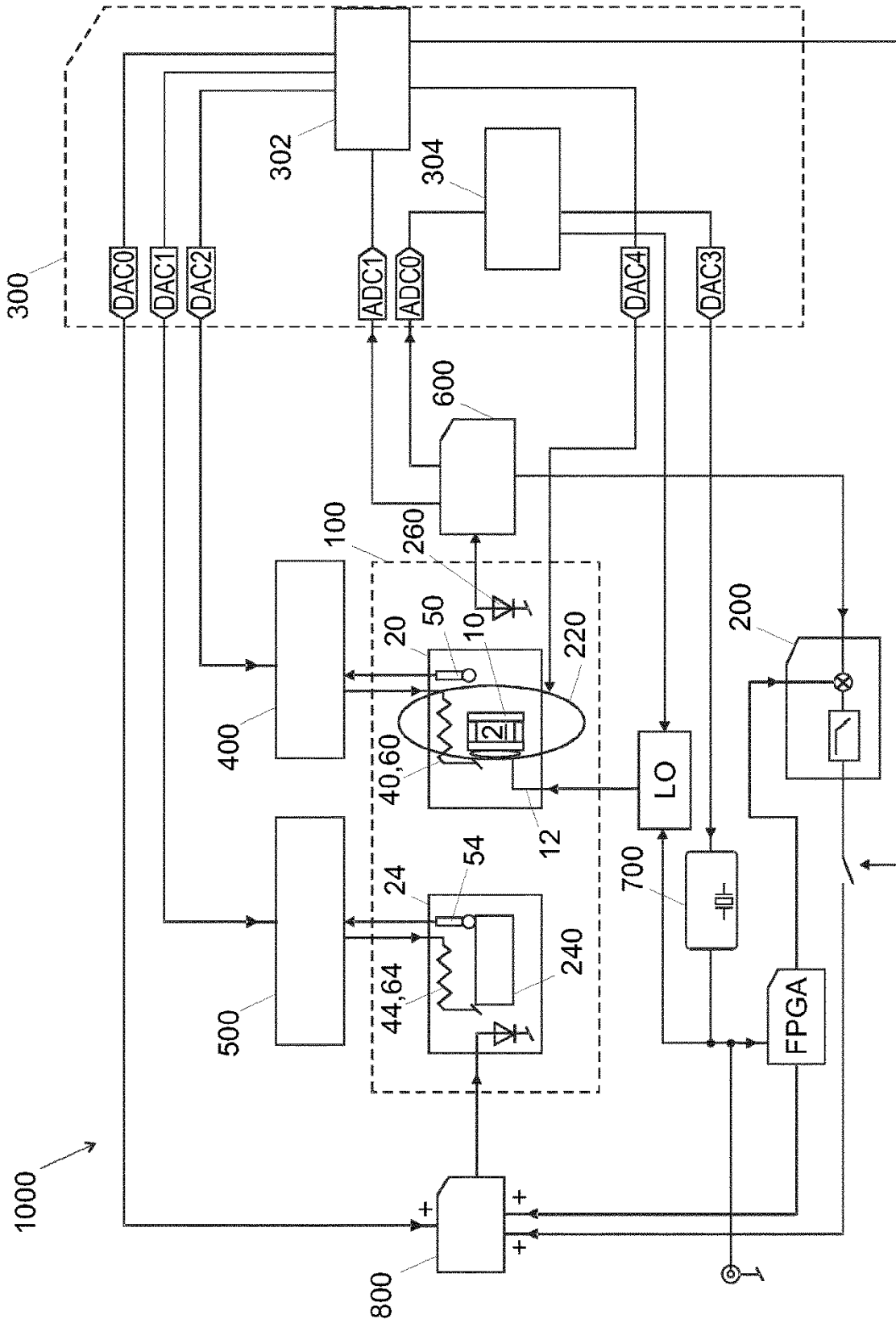


Fig. 6