

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 908**

51 Int. Cl.:

G01L 1/14 (2006.01)

G01L 5/00 (2006.01)

G01L 5/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2012 E 12759486 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015 EP 2764341**

54 Título: **Sensor de fuerza de MEMS capacitivo de orden inferior a milinewton para someter a ensayo mecánico en un microscopio**

30 Prioridad:

04.10.2011 EP 11183816

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

29.09.2015

73 Titular/es:

**FEMTOTOOLS AG (100.0%)
Furtbachstrasse 4
8107 Buchs ZH, CH**

72 Inventor/es:

**BEYELER, FELIX;
MUNTWYLER, SIMON y
DIETZE, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 546 908 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

Sensor de fuerza de MEMS capacitivo de orden inferior a milinewton para someter a ensayo mecánico en un microscopio.

La presente invención se refiere a un sensor de fuerza micrométrica capacitivo según la reivindicación 1.

5 1 Antecedentes

Existen múltiples métodos para medir la fuerza desde el orden de nanonewton (10^{-9} N) hasta milinewton (10^{-3} N) tal como microscopios de fuerza atómica, microbalanzas, voladizos piezorresistivos y sensores de fuerza capacitivos. Estos sistemas se han usado satisfactoriamente en diferentes campos de aplicación incluyendo ciencia de materiales, desarrollo de micro-sistemas, nanotecnología, investigación biológica, investigación médica, caracterización de película fina y control de calidad de sistemas miniaturizados. El uso de estos sensores en combinación con un dispositivo de colocación preciso tal como un micromanipulador, permite construir sistemas de ensayos de compresión y tracción para someter a ensayo mecánico en la microbalanza.

La capacitancia es una medida de la carga eléctrica entre dos conductores separados por un espacio de aire. Una carga aplicada al sensor produce una desviación. Puesto que los conductores se mueven acercándose o alejándose entre sí, el espacio de aire cambia, y por tanto también la capacitancia. El principio de detección de fuerza micrométrica capacitiva es sencillo y efectivo y presenta una sensibilidad excelente. La tecnología de fabricación de MEMS permite la fabricación eficaz de tales sensores [1]. Debido a la estructura de silicio monocristalina del sensor, los resultados son altamente repetibles y es menos probable que los sensores se degraden a lo largo del tiempo. Los diseños del sensor de fuerza de MEMS capacitivo se detallan en [1-3] y se proporcionan como un producto comercial [4].

2 Problemas que han de resolverse

La mayoría de los ensayos mecánicos (ensayos de compresión, ensayos de tracción, ensayos de flexión, ensayos de corte transversal) de muestras en la escala de tamaño de orden inferior a mm se realizan bajo observación con un microscopio óptico o un microscopio electrónico de barrido tal como se muestra en la figura 4a. Los sensores de MEMS capacitivos han demostrado su idoneidad para metrología a pequeña escala y su diseño se describe en [1, 2]. Sin embargo, existen los problemas siguientes con los sensores 18 de fuerza de la técnica anterior:

a) Los sensores 18 de la técnica anterior no pueden usarse para ensayos mecánicos en el plano (dirección a y b) de la muestra 14. El motivo es que cuando se alinea la dirección 22 de detección horizontalmente (plano a-b), los sensores 18 de la técnica anterior tocarán el portamuestras 13, haciendo que la medición sea imposible. El punto 16 de contacto se muestra en la figura 4a.

b) Los sensores 18 de la técnica anterior no pueden usarse para ensayos verticales (dirección c) de la muestra 14. El motivo es que cuando se alinea la dirección 22 de detección verticalmente (dirección c), los sensores 18 de la técnica anterior tocarán la lente 12 del microscopio, haciendo que la medición sea imposible. El punto 16 de contacto se muestra en la figura 4a.

c) Los sensores de la técnica anterior pueden usarse en combinación con un estereomicroscopio de largo alcance. Sin embargo, la alineación del sensor 18 de la técnica anterior en relación con la muestra 14 es difícil, puesto que el sensor cubrirá gran parte del campo de visión del microscopio. No es posible una observación de la muestra 14 durante la medición. Al cubrirse la línea 15 de visión se impide la observación de la muestra 14 durante los ensayos. Sin embargo, la información visual durante el ensayo es de gran importancia para observar procesos físicos tales como propagación de grietas, viscoelasticidad, fallo en la estructura o deformación plástica.

d) Es posible realizar mediciones usando sensores 18 de fuerza existentes con un ángulo β sin tocar la lente 12 del microscopio ni el portamuestras 13 tal como se muestra en la figura 4a). Sin embargo, los datos de medición son difíciles de interpretar puesto que no pueden medirse las componentes de fuerza en la dirección a, b y c de manera directa e independiente.

45 3 Técnica anterior

Los documentos [1, 2] describen un diseño de sensor capacitivo basado en accionamiento de peine que presenta una sonda de sensor que está sobresaliendo por encima del sustrato en un lado. La dirección en la que el sensor 18 de la técnica anterior es sensible es paralela a la sonda de sensor tal como se muestra en la figura 4a). Este diseño es adecuado para los ensayos mecánicos de una muestra 14 bajo la lente 12 del microscopio con un ángulo β . Sin embargo, las mediciones en la dirección horizontal (plano a-b) o vertical (eje c) a menudo no son posibles debido a la forma del sustrato y a la geometría del chip de sensor. Para algunas aplicaciones se usan sensores de fuerza de

múltiples ejes capacitivos según [3,7] para tener una flexibilidad superior y descomponer los vectores de fuerza en las componentes de eje a, b y c. Sin embargo, los sensores de fuerza de múltiples ejes son difíciles de calibrar en el orden inferior a Milinewton y por tanto son muy caros.

5 Los diseños de sensores de la técnica anterior descritos en [1]-[9] no presentan una sonda (2) que está sobresaliendo por encima del sustrato (7) en dos lados (8, 9), limitando el número de aplicaciones para las que puede usarse el sensor debido a las limitaciones geométricas.

10 Montar simplemente los chip de sensor de MEMS de la técnica anterior girados de manera que la sonda 2 de sensor esté sobresaliendo por encima del sustrato 7 en un lado no resuelve el problema puesto que el sustrato 7 y todo el chip de sensor de MEMS están dentro de la línea 15 de visión y por tanto están bloqueando una gran parte de la visión al microscopio. Además, esta configuración no es adecuada puesto que el sustrato toca la lente 12 del microscopio haciendo que la medición sea imposible.

4 Descripción detallada

Para una comprensión más completa de la presente descripción, y las ventajas de la misma, a continuación se hace referencia a las siguientes descripciones tomadas conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

15 la figura 1 representa un sensor de MEMS capacitivo en una vista esquemática;

la figura 2a representa un sensor de la técnica anterior por Sun Yu *et al.*;

la figura 2b representa un sensor de MEMS capacitivo con algunas indicaciones geométricas;

la figura 3 representa la composición eléctrica y mecánica del sensor;

la figura 4a representa los ensayos mecánicos usando sensores de la técnica anterior;

20 la figura 4b representa los ensayos mecánicos usando el diseño de sensor según la invención;

la figura 5a representa un sensor de la técnica anterior;

la figura 5b representa una realización de la invención;

la figura 5c representa una realización alternativa de la invención.

25 La figura 1 muestra una vista esquemática del diseño de sensor de fuerza. La figura 3 muestra la composición eléctrica y mecánica. El principio de funcionamiento básico es el siguiente: Se aplica una fuerza a la sonda 2 en la punta 1 de sonda de sensor. La fuerza se transmite por la sonda 2 de sensor hacia el cuerpo 3 móvil del sensor. El cuerpo 3 móvil está suspendido elásticamente por cuatro elementos 4 de flexión plegados, que transducen la fuerza en una desviación dx . Esta desviación dx se mide mediante una disposición de electrodos de condensador, denominada accionamiento 6 de peine capacitivo. Puede usarse una configuración de dos accionamientos 6 de
30 peines para realizar mediciones diferenciales. La fuerza de restauración F_r para el diseño de elemento de flexión plegado viene dada por

$$F_r = 2 \frac{Etw^3}{l_s^3} dx$$

35 donde l_s es la longitud de los elementos de flexión del sensor, E es el módulo de Young del silicio, t es el grosor de los elementos de flexión, w es la anchura de los elementos de flexión del sensor y dx es la desviación. La capacitancia eléctrica C_1 y C_2 del accionamiento de peine formada entre el electrodo 24 común móvil y el electrodo 25 no móvil viene dada por

$$C_1 = C_2 = n\epsilon \frac{l_c t}{d_1} + n\epsilon \frac{l_c t}{d_2}$$

donde n es el número de dedos del accionamiento de peine, l_c es la longitud de los dedos del accionamiento de

peine, d_1 es el pequeño espacio de los electrodos de condensador y d_2 es la separación entre un par de electrodos de condensador. La desviación dx cambia las capacitancias a

$$C_1 = \varepsilon \frac{l_c t}{d_1 - dx} + \varepsilon \frac{l_c t}{d_2 + dx} \quad \text{y} \quad C_2 = \varepsilon \frac{l_c t}{d_1 + dx} + \varepsilon \frac{l_c t}{d_2 - dx} .$$

5 El cambio en la capacitancia se convierte en una tensión de salida por los componentes electrónicos de lectura. Los componentes electrónicos de lectura con el IC 11 de interfaz se ubican directamente en el paquete 20 de sensor. La ubicación del IC de interfaz lo más cerca posible del chip 17 de sensor de MEMS es importante para minimizar la cantidad de capacitancia parásita. La capacitancia parásita reduciría la calidad de la señal de salida del IC 11 de interfaz. El alcance, la sensibilidad y la resolución del sistema de detección pueden variarse fácilmente cambiando la longitud l_s de los elementos de flexión.

10 El paquete de sensor consiste en el chip 17 de sensor de MEMS, el IC 11 de interfaz y el sustrato 7. El procedimiento de fabricación de MEMS se detalla en los documentos [1, 6, 7 y 9]. Se usan obleas de silicio o silicio sobre aislante como material de base. Sin embargo, también puede ser posible fabricar el chip 17 de sensor usando un metal mediante electrodeposición o corte por láser. El procedimiento de fabricación descrito en los documentos [6, 7] permite que la sonda de sensor se aisle eléctricamente del resto del chip de MEMS. Por tanto, la sonda puede usarse para mediciones eléctricas simultáneas o para aplicar una corriente o señal eléctrica a la muestra 14.

20 En el diseño de sensor del estado de la técnica descrito en [1], el electrodo 24 común móvil está ubicado en el centro entre los electrodos 25 no móviles, formando un accionamiento de peine capacitivo diferencial tal como se muestra en la figura 2a. El chip 7 de sensor de MEMS según una realización preferida de la invención presenta una configuración de accionamiento de peine diferente tal como se muestra en la figura 2b. Los electrodos 25 no móviles se mueven hacia el mismo lado uno junto al otro formando también un accionamiento de peine diferencial. La nueva configuración es ventajosa para reducir el tamaño del chip 17 de sensor de MEMS en la dirección y , y para la unión por cable del chip 17 de sensor de MEMS al sustrato 7 al reducirse la longitud de los cables.

25 Tras la fabricación del chip de MEMS, el chip 17 de sensor de MEMS se monta sobre un sustrato 7, que normalmente es una placa 7 de circuito impreso que también incluye el IC de interfaz y el resto de los componentes 11 electrónicos de lectura. El chip de sensor está ubicado en el borde superior del sustrato 7 (borde 8 de sustrato) y en el borde derecho o en el izquierdo (borde 9 de sustrato). El sensor está unido por cable al sustrato. La sonda 2 de sensor está diseñada de manera que su punta 1 de sonda está sobresaliendo por encima de dos lados 8, 9 del sustrato 7 una distancia p_x y p_y respectivamente tal como se muestra en la figura 2b. Esto se realiza introduciendo un ángulo α en el diseño de MEMS o eligiendo una forma de sonda curvada. Los valores p_x y p_y pueden oscilar entre algunas unidades de micrómetros y varios milímetros. El hecho de que la sonda de sensor esté sobresaliendo por encima tanto del lado 8 de sustrato como del lado 9 de sustrato, permite que el sensor se use para un número de aplicaciones mucho mayor. El sensor se usa en combinación con un microscopio óptico o un microscopio electrónico de barrido para observar la alineación de la punta 1 de sonda de sensor y la muestra 14.

35 En la mayoría de los casos, los sensores de fuerza de MEMS capacitivos se usan en combinación con un dispositivo de microcolocación preciso tal como un micromanipulador. El sensor puede montarse en orientaciones diferentes, ajustables, tal como se muestra en la figura 4b. La forma en la que el sensor se monta sobre el micromanipulador depende de la dirección de detección deseada para una aplicación determinada. Algunas tareas de medición requieren la aplicación de la fuerza a la muestra 14 en dirección vertical (dirección c). Otras aplicaciones requieren la aplicación de la fuerza a la muestra 14 en dirección horizontal (plano a-b).

40 Para las mediciones verticales, la dirección de detección del sensor se alinea con el eje c . El sustrato 7 puede tener un rebaje 21 de manera que el sensor también puede usarse en el espacio limitado disponible por debajo de la lente 12 del microscopio y por encima del portamuestras 13. Para las mediciones en el plano a-b, el sensor se monta con un ángulo β tal como se muestra en la figura 4b. El ángulo β puede alterarse sin cambiar la dirección 10 de detección, lo que es una gran ventaja en comparación con los diseños de sensores de la técnica anterior puesto que simplifica la configuración experimental, la aplicación de la fuerza en la dirección a o la dirección b y la interpretación de los datos de medición.

5 Comparación con diseños de sensor existentes

50 La figura 5a .. 5c compara el diseño 18 de sensor de la técnica anterior con el sensor propuesto según la invención. La dirección de detección del sensor 22 de la técnica anterior es paralela a la sonda de sensor tal como se muestra en la figura 5a. Además, la sonda de sensor es paralela el eje largo del sustrato. Este no es el caso en el nuevo diseño del sensor 23 mostrado en la figura 5b y la figura 5c. El eje de detección es perpendicular al eje largo del paquete 20 de sensor y la punta 1 de sonda. Además puede observarse que la sonda de sensor del sensor 18 de la

- técnica anterior sólo está sobresaliendo por encima de un lado del sustrato. En el nuevo sensor 23, la sonda está sobresaliendo por encima de dos lados 8, 9 del sustrato 7. Es decir, el borde 8 de sustrato superior y uno de los bordes 9 de sustrato adyacente del borde 8 de sustrato superior. Este borde adyacente del sustrato 9 puede estar en el lado derecho o el izquierdo del sustrato 7. En el diseño de sensor de la técnica anterior, la sonda es recta, mientras que la sonda 2 del nuevo sensor 23 está inclinada con un ángulo α tal como se muestra en la figura 2b. La dirección 10 de detección es perpendicular al eje largo del sustrato 7 (eje x en la figura 5a, 5b, 5c. El sensor de la técnica anterior presenta una dirección de detección paralela al borde 9 de sustrato (lado izquierdo o derecho), el nuevo sensor presenta una dirección de detección paralela al borde 8 de sustrato (borde de sustrato superior). El chip de sensor de MEMS está ubicado en el borde de dos lados 8, 9 de sustrato adyacentes.
- 5
- 10 Cuando se mira la figura 5a .. 5c, puede observarse que para el sensor 18 de la técnica anterior, la dirección de detección del sensor 22 de la técnica anterior cambia con el ángulo β . Esto significa que el vector de fuerza aplicado a la muestra 14 también cambia con el ángulo β . Esto es una desventaja, puesto que para una medición significativa la fuerza aplicada debe ser en dirección a, dirección b o dirección c. La figura 4b muestra que la dirección 10 de detección (y por tanto el vector de fuerza aplicado) no cambia con el ángulo β cuando se usa el nuevo sensor 23. La configuración de montaje en la figura 4b muestra también que sólo una pequeña parte del campo de visión del microscopio está cubierta por el nuevo sensor 23.
- 15

Lista de números de referencia y acrónimos usados

- 1 punta de sonda de sensor
- 2sonda de sensor
- 20 3parte móvil del sensor
- 4 elementos de flexión
- 5partes no móviles del sensor
- 6accionamiento de peine capacitivo
- 7sustrato
- 25 8borde del sustrato
- 9borde del sustrato
- 10dirección de detección
- 11 circuito integrado de interfaz
- 12lente de microscopio
- 30 13 portamuestras
- 14 muestra
- 15 línea de visión
- 16 punto de contacto
- 17 chip de sensor de MEMS
- 35 18 sensor de la técnica anterior
- 21 rebaje en el sustrato
- 22 dirección de detección del sensor de la técnica anterior
- 23 nuevo sensor de fuerza

- px distancia desde la punta de sonda hasta el borde de sustrato en la dirección x
- py distancia desde la punta de sonda hasta el borde de sustrato en la dirección y
- d1 espacio de aire entre electrodos de condensador
- d2 espacio de aire entre pares de electrodos de condensador
- 5 dx desviación de la parte móvil del sensor
- ls longitud del elemento de flexión
- lc longitud de los electrodos de condensador
- t grosor de la capa del dispositivo de chip, los elementos de flexión y los electrodos de condensador
- w anchura del elemento de flexión
- 10 E módulo de Young
- Fr fuerza de restauración
- MEMS Sistema Microelectromecánico
- IC circuito integrado
- α ángulo de la sonda de sensor
- 15 β ángulo del sustrato
- 8 Lista de documentos citados
- [1] Y. Sun, B. J. Nelson, "MEMS Capacitive Force Sensors for Cellular and Flight Biomechanics", Biomedical Materials, Vol. 2, n.º 1, 2007, págs. 16-22.
- [2] Documento WO 2010/112242 A1, «PACKAGE AND INTERFACE OF A MICROFORCE SENSOR FOR SUB-MILLINEWTON ELECTROMECHANICAL MEASUREMENTS» Solicitante: FemtoTools GmbH
- 20 [3] Documento WO 2005/121812 A1 «MULTI-AXIS CAPACITIVE TRANSDUCER AND MANUFACTURING METHOD FOR PRODUCING IT» Solicitante: ETH ZURICH
- [4] FemtoTools AG, <http://www.femtotools.com>
- [5] Documento WO 2007/147239 A1 «MEMS-BASED MICRO AND NANO GRIPPERS WITH TWO-AXIS FORCE SENSORS» Solicitante: SUN, Yu; KIM, Keekyoung
- 25 [6] F. Beyeler, A. P. Neild, S. Oberti, D. J. Bell, Y. Sun, J. Dual, B. J. Nelson "Monolithically Fabricated Micro-Gripper with Integrated Force Sensor for Manipulating Micro-Objects and Biological Cells Aligned in an Ultrasonic Field" IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 16, n.º 1, Febrero de 2007, págs. 7--15.
- [7] F. Beyeler, S. Muntwiler, Z. Nagy, C. Graetzel, M. Moser, B.J. Nelson, "Design and calibration of a MEMS sensor for measuring force and torque acting on a magnetic microrobot" Journal of Micromechanics Microengineering, Vol. 18, 2008, pág. 7.
- 30 [8] Documento US 2007/0251328 A1 «FORCE SENSOR PACKAGE AND METHOD OF FORMING THE SAME» Solicitantes: Thirumani A. Selvan; Raghu Sanjee.
- [9] S. Muntwiler, B. E. Kratochvil, F. Beyeler, B. J. Nelson, "Monolithically Integrated Two-Axis Microtensile Tester for the Mechanical Characterization of Microscopic Samples", IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems (JMEMS), Vol. 19, n.º 5, octubre de 2010, págs. 1223-1233
- 35

REIVINDICACIONES

1. Sensor de fuerza de MEMS capacitivo de un solo eje para detección de fuerza de orden inferior a Milinewton que comprende:

- una sonda (2) de sensor con una punta (1) de sonda sobre la que se aplica la fuerza,

5 - al menos un accionamiento de peine para la medición (6) capacitiva y

- un sustrato (7)

caracterizado porque

la sonda (2) de sensor con la punta (1) de sonda está sobresaliendo (p_x , p_y) por encima del sustrato (7) de sensor en dos lados adyacentes de los bordes (8, 9) de sustrato.

10 2. Sensor de fuerza de MEMS capacitivo según la reivindicación 1, en el que dicho sensor tiene los dos electrodos (25) de condensador no móviles ubicados uno junto al otro, formando un accionamiento de peine diferencial en combinación con el electrodo (24) común móvil.

3. Sensor de fuerza de MEMS capacitivo según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que un circuito (11) integrado de interfaz capacitivo está ubicado directamente sobre dicho sustrato (7).

15 4. Sensor de fuerza de MEMS capacitivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho sensor está montado sobre un micromanipulador de manera que puede ajustarse la orientación de los sensores en el espacio.

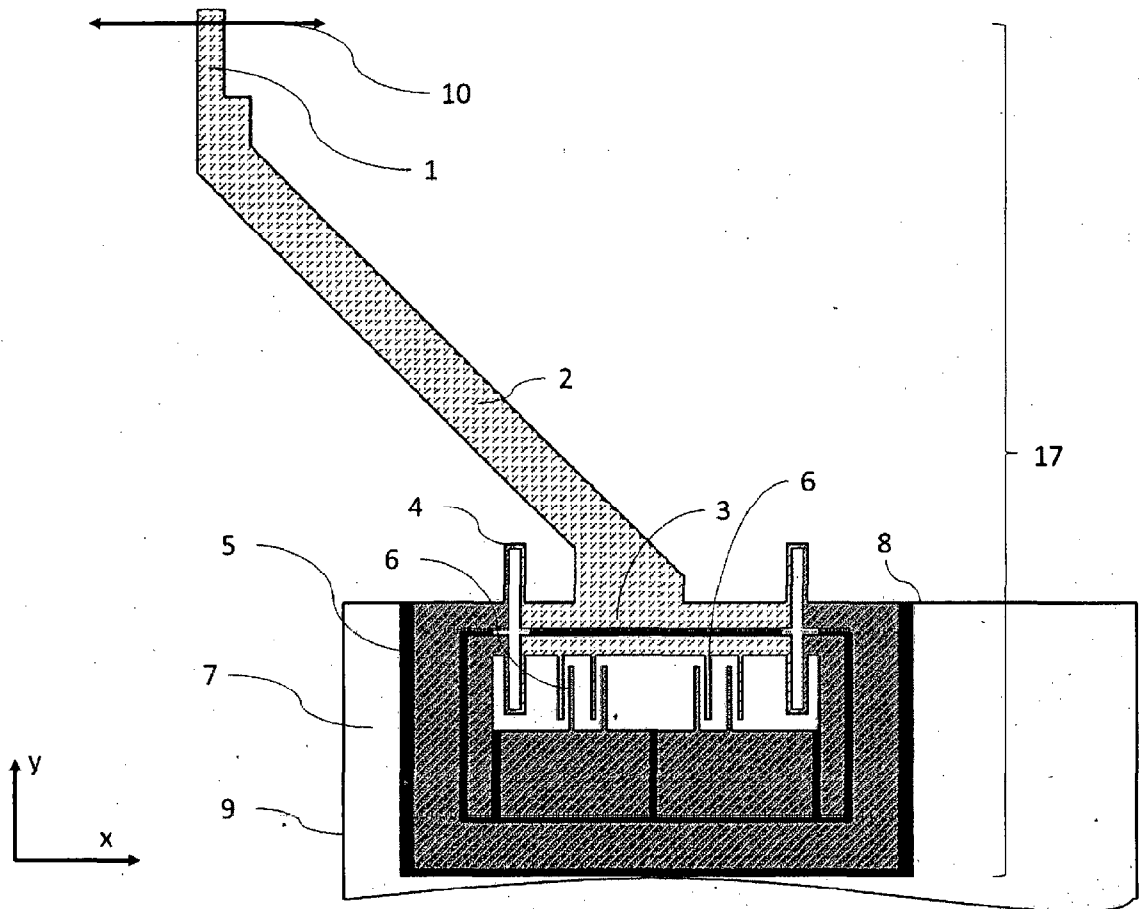


FIG 1

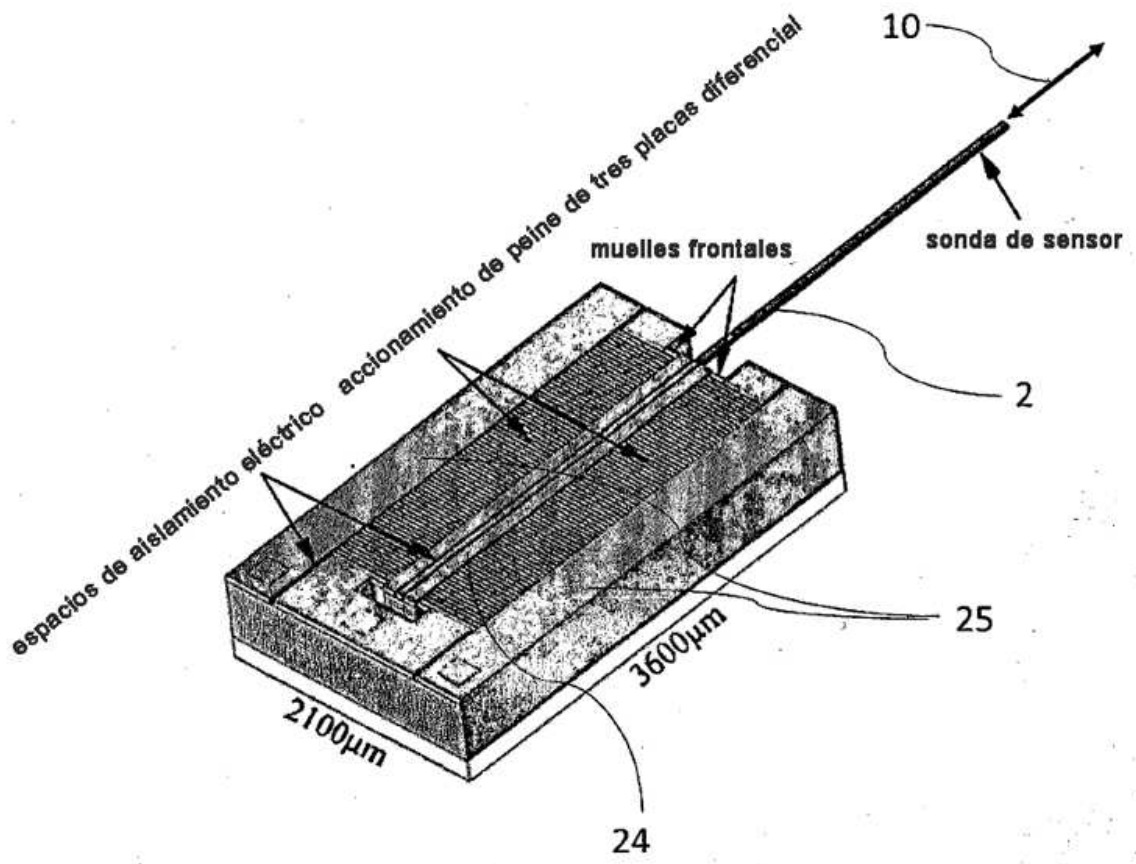


FIG 2a

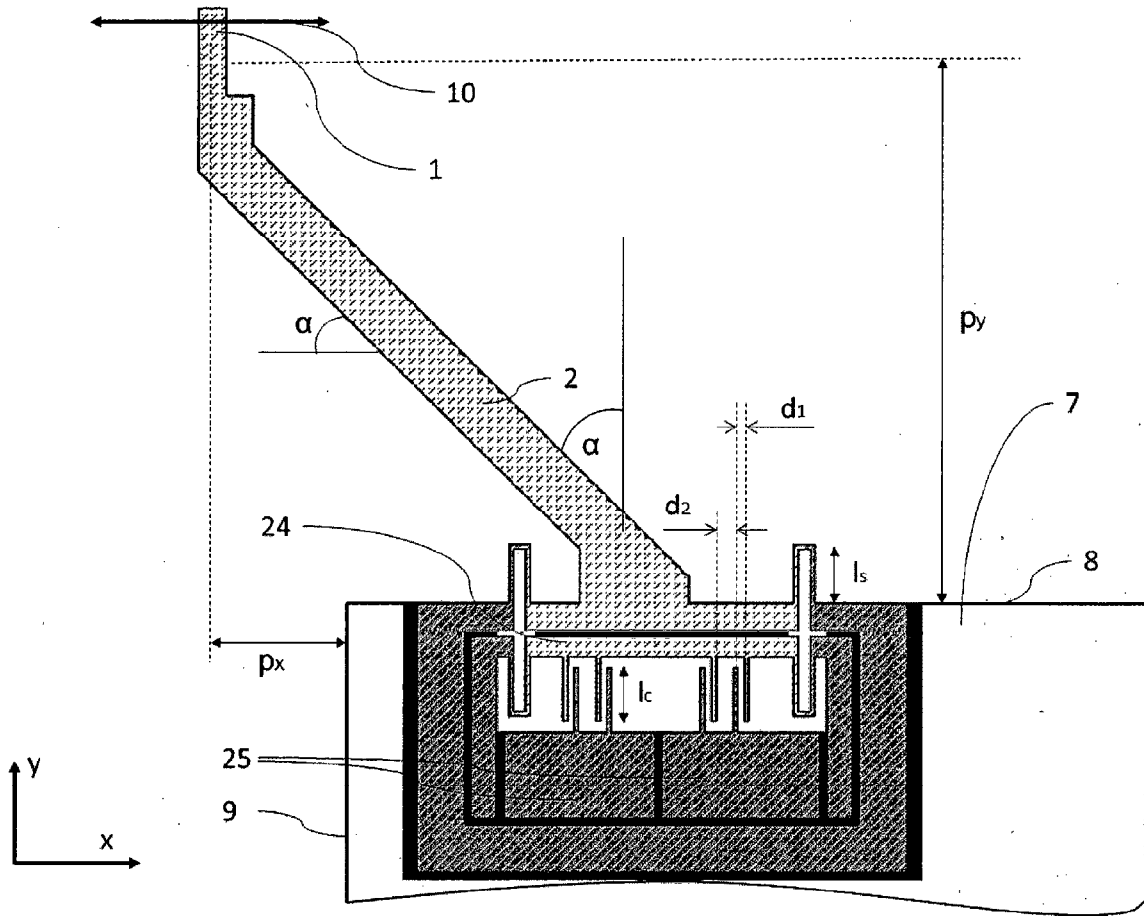


FIG 2b

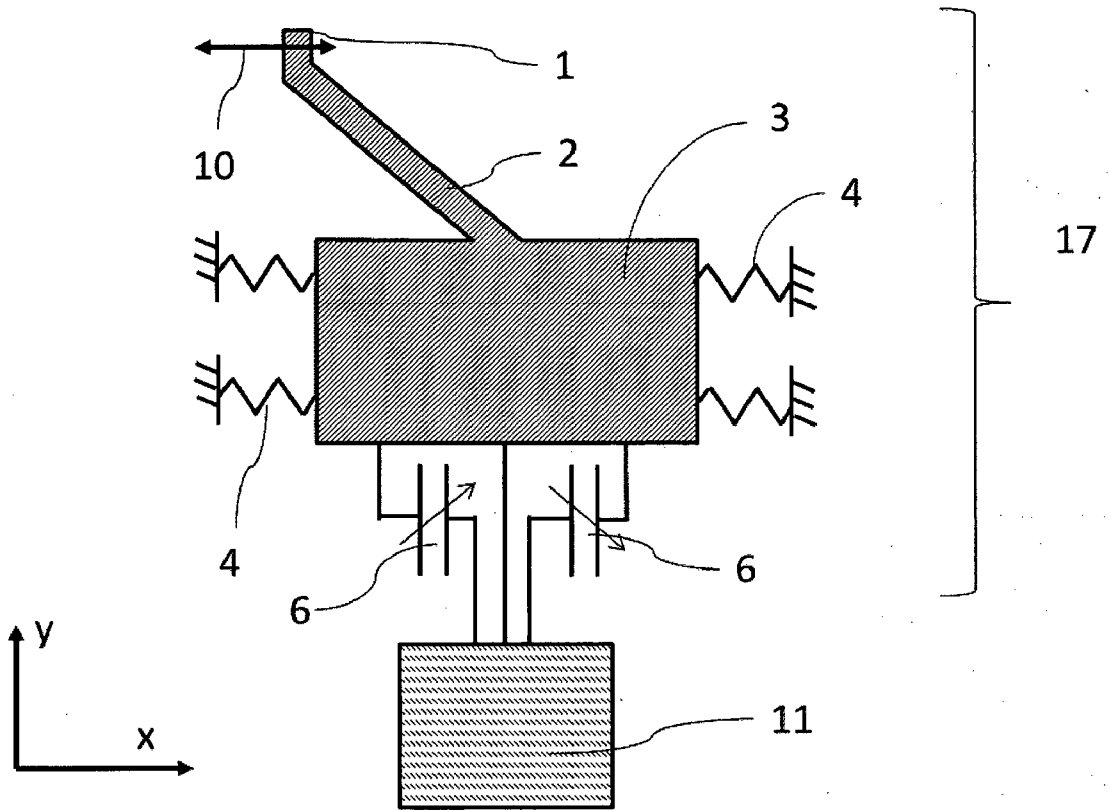
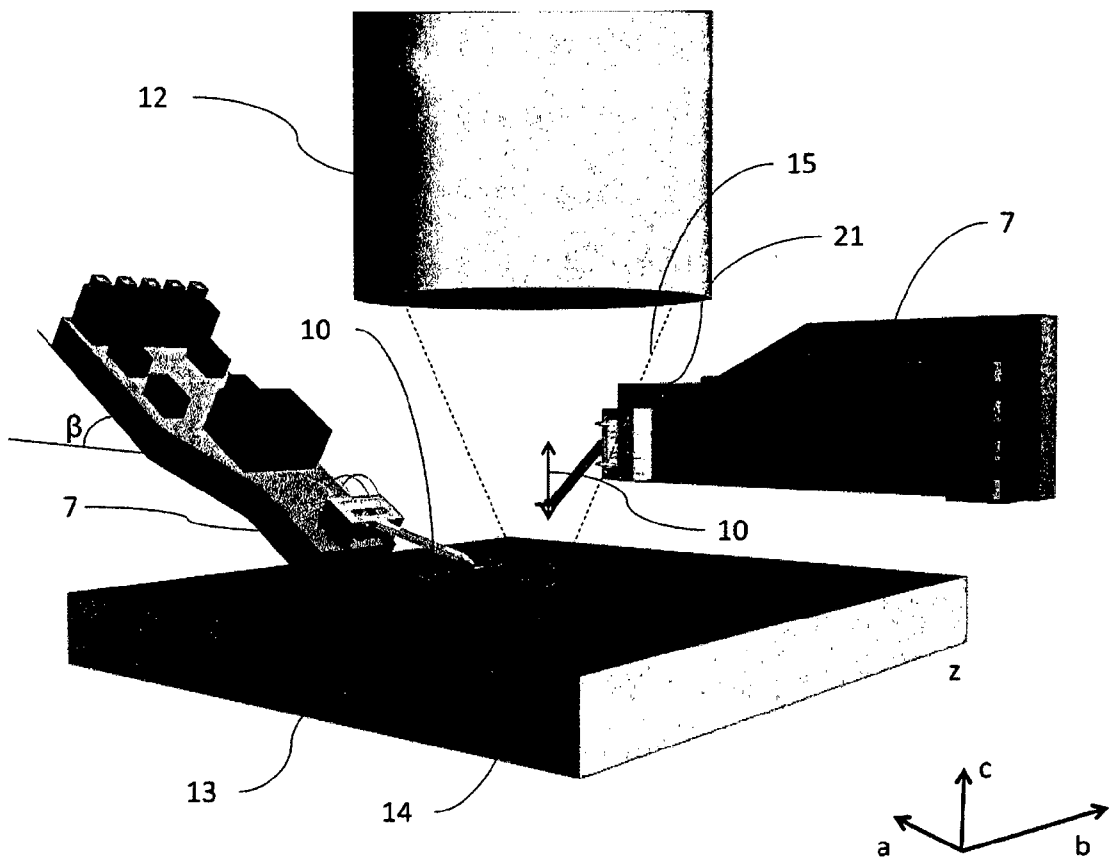
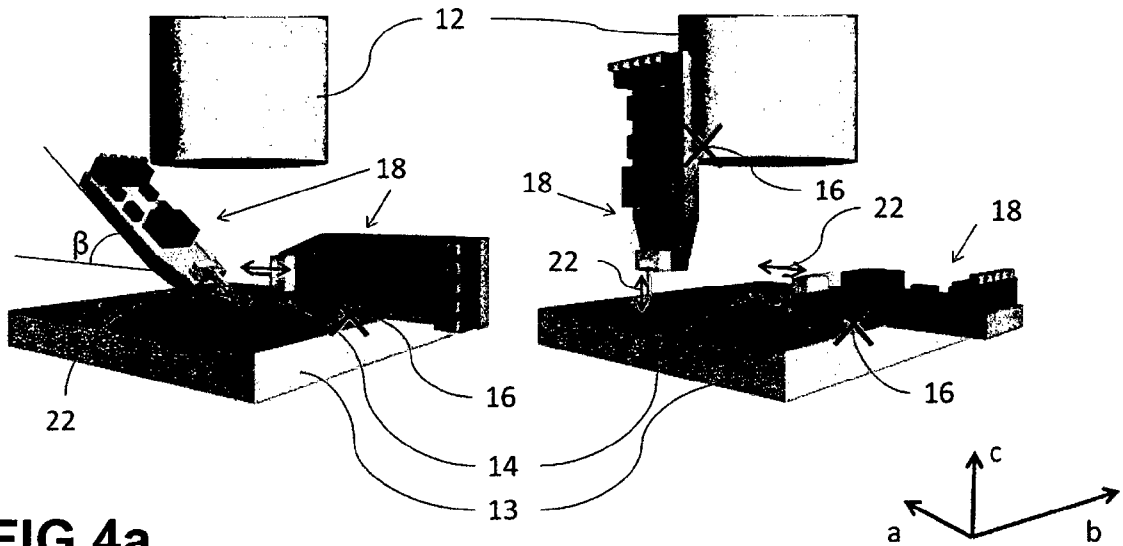


FIG 3



a)

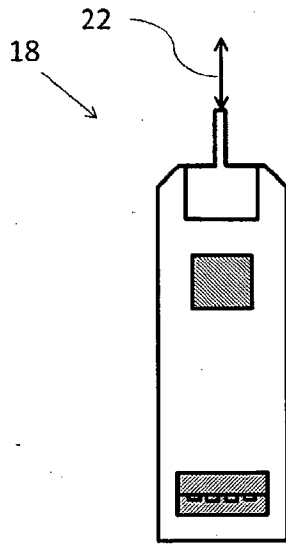


FIG 5a

b)

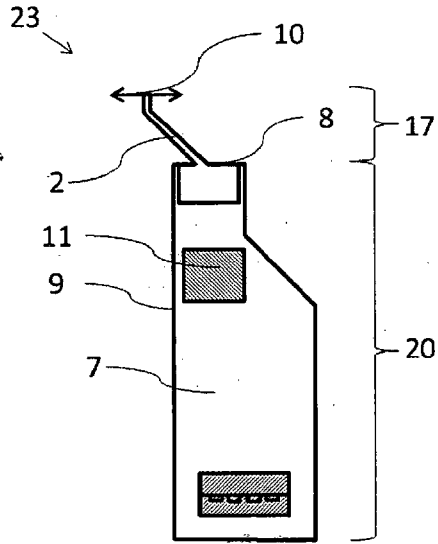


FIG 5b

c)

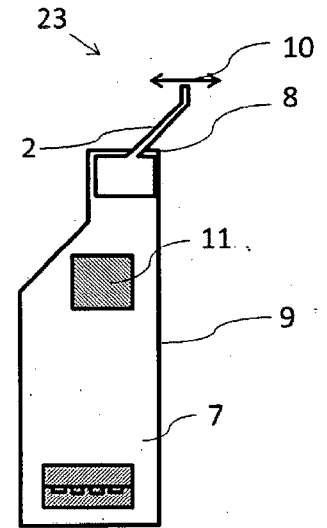


FIG 5c

