

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2012/010738 A1

(43) Fecha de publicación internacional
26 de enero de 2012 (26.01.2012)

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G01Q 10/04 (2010.01) *B82Y 15/00* (2011.01)
G01Q 20/04 (2010.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2011/070535

(22) Fecha de presentación internacional:
21 de julio de 2011 (21.07.2011)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201031135 22 de julio de 2010 (22.07.2010) ES

(71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSITAT DE BARCELONA** [ES/ES]; Centre de Patents de la UB, Baldiri Reixac 4, E-08028 Barcelona (ES). **FUNDACIÓ PRIVADA INSTITUT DE BIOENGINYERIA DE CATALUNYA** [ES/ES]; Josep Samitier 1-5, E-08028 Barcelona (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **OTERO DÍAZ, Jorge** [ES/ES]; Cortada 1, Ac 1, E-08905 L'Hospitalet de Llobregat (ES). **PUIG VIDAL, Manuel** [ES/ES]; Mossèn Jacint Verdaguer 2, E-08789 La Torre

de Claramunt (ES). **CABEZAS RUESCAS, Gonzalo** [ES/ES]; Lluís Sagnier 43, E-08032 Barcelona (ES). **GONZÁLEZ CLARAMONTE, Laura** [ES/ES]; Sant Antoni M. Claret 514, 5è 1a, E-08027 Barcelona (ES).

(74) Mandatario: **SEGURA CÁMARA, Pascual**; Centre de Patents de la UB, Baldiri Reixac 4, E-08028 Barcelona (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

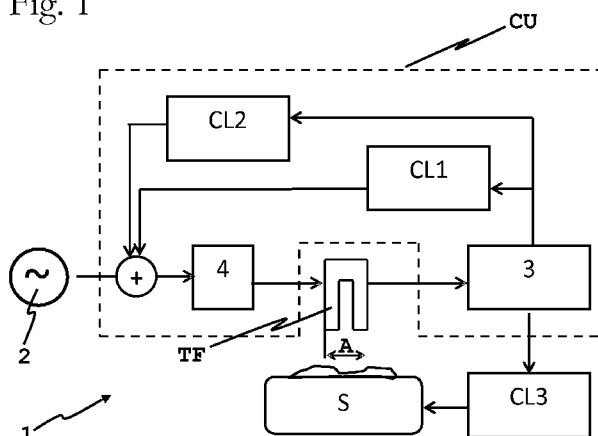
(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: MICROSCOPY DEVICE COMPRISING A TUNING-FORK PROBE AND A CONTROL UNIT FOR A NANOSENSOR BASED ON A TUNING FORK

(54) Título : DISPOSITIVO DE MICROSCOPIA QUE COMPRENDE UNA SONDA DE HORQUILLA RESONANTE Y UNIDAD DE CONTROL PARA UN NANOSENSOR BASADO EN UNA HORQUILLA RESONANTE

Fig. 1



(57) Abstract: The invention comprises a tuning-fork (TF) probe, a source (2) for exciting the probe, a sensor (3) for measuring the amplitude (A) of oscillation of the probe, a first control loop (CL1) adjusted to control the Q-factor of the probe and a second control loop (CL2) that acts on the source (2) in response to the signal supplied by the sensor (3). According to the invention, CL2 is adjusted so as to control A at a pre-determined constant value when the microscopy device (1) is not interacting with an object (S), such that it is possible to set constant amplitude and Q-factor values independently. In addition, the invention comprises a control unit (CU) for a tuning fork that can be mounted in a microscopy device.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

Comprende una sonda de horquilla resonante (TF), una fuente (2) para excitar la sonda, un sensor (3) para medir la amplitud de oscilación (A) de la sonda, un primer lazo de control (CL1) ajustado para controlar el factor de calidad (Q) de la sonda, y un segundo lazo de control (CL2) que actúa sobre la fuente (2) en respuesta a la señal suministrada por el sensor (3), estando ajustado CL2 para controlar A a un valor predeterminado constante cuando el dispositivo de microscopia (1) no interacciona con un objeto (S), de modo que es posible fijar valores constantes de la amplitud y del factor de calidad independientemente. También comprende una unidad de control (CU) para una horquilla resonante que puede ser montada en un dispositivo de microscopia.

Dispositivo de microscopía que comprende una sonda de horquilla resonante y unidad de control para un nanosensor basado en una horquilla resonante

5 La invención se refiere a un dispositivo de microscopía con sonda de exploración (SPM, *scanning probe microscopy*) provisto de una horquilla resonante y una sonda que permite explorar objetos sumergidos, controlando visualmente su movimiento y obteniendo factores de calidad elevados.

ESTADO DE LA TÉCNICA

10

La invención se refiere a los dispositivos de microscopía basados en micropalancas u horquillas resonantes. En ambos casos, la exploración se lleva a cabo principalmente haciendo oscilar la sonda en la vecindad cercana del objeto a explorar, de modo que se provoca un cambio en la respuesta de oscilación, lo cual permite medir la interacción.

15

Estas sondas se caracterizan por una curva de respuesta que representa la amplitud en función de la frecuencia, que tiene un pico de resonancia, en el que la sensibilidad de la sonda es máxima, y un factor de calidad (*Q-factor*), definido como la relación entre la anchura y la altura del pico de resonancia.

20

Por razones de estabilidad, la sonda se emplea a una frecuencia cercana de la frecuencia de resonancia. Las prestaciones del sensor están determinadas por el factor de calidad, y los parámetros de funcionamiento se ajustan para obtener un compromiso entre una resolución buena, asociada a factores de calidad elevados, y una velocidad de exploración elevada, asociada a factores de calidad reducidos.

25

Las fuerzas de interacción con la muestra van modificando la respuesta amplitud-frecuencia, lo cual implica un cambio en la amplitud de oscilación si se trabaja a una frecuencia constante. Así que el cambio en la frecuencia de resonancia del sensor se determina midiendo la amplitud y la fase de oscilación del sensor.

30

35

Por lo tanto, para mejorar el funcionamiento del sensor, es habitual realizar un ajuste del factor de calidad durante la exploración mediante cambios en los parámetros de funcionamiento, es decir controlando el voltaje de señal de

control aplicado a la sonda, para garantizar la sensibilidad adecuada. La presente invención se refiere concretamente al control del factor de calidad en dispositivos de microscopía basados en sondas de horquilla resonante.

- 5 En el estado de la técnica se describen varios dispositivos y procedimientos para el control del factor de calidad.

Un ejemplo se muestra en US6008489, donde se describen estrategias de mejora de la oscilación. Sin embargo, se refiere a ajustes a largo plazo y no
10 analógicos, que no se realizan en tiempo real.

En US7627438 se usa un control del factor de calidad en una micro palanca (*cantilever*) que oscila sustancialmente en la dirección Z.

- 15 En US2006260388 se describe la obtención de diferentes constantes k efectivas (constante elástica o rigidez) en un microscopio de micropalanca, empleando dos sensores diferentes, con la finalidad de obtener diferentes sensibilidades en el microscopio.

- 20 En un artículo de B. Ping et al. ("Improve performance of scanning probe microscopy by balancing tuning fork prongs", Ultramicroscopy 2009, vol. 109, pp. 291-295) se lleva a cabo un equilibrado físico de la horquilla resonante para cambiar el factor de calidad y las imágenes.

- 25 En un artículo de H. Hida et al. ("Development of Self-vibration/detection AFM Probe Using Quartz Tuning fork", IEEJ Trans. Elect. Electronics 2009, vol. 4, pp. 378-385) se discute la necesidad de establecer factores de calidad elevados para algunas aplicaciones y controlar electrónicamente la amplitud de vibración.

- 30 En un artículo de T. Tung et al. ("Parameters of tip-sample interactions in shear mode using a quartz tuning fork AFM with controllable Q-factor"), Journal of Engineering Physics and Thermophysics 2009, vol. 82, pp. 140-148) se discute la importancia de disponer de un control adecuado del factor
35 de calidad. El contenido de este documento es próximo a la presente invención.

En un artículo de M. Labardi et al. ("Non contact friction force microscopy based on quartz tuning fork sensors", Applied Physics Letters 2006, vol. 89, p. 174104) se menciona literalmente que "con la finalidad de aumentar la velocidad de obtención de imágenes en modo sin contacto, se modificó la horquilla resonante para obtener factores de calidad menores en el modo de oscilación en Z. Se puso pegamento en la pata libre de la sonda para inmovilizar preferentemente su movimiento en Z"; es decir, para reducir el factor de calidad se propone añadir pegamento a la sonda.

- 10 En un artículo de J. Jahng et al. ("Active Q control in tuning-fork-based atomic force microscopy", Applied Physics Letters 2007, vol. 91, p. 023103) se discute la utilidad del control del factor de calidad.

15 Sin embargo, aunque ya se haya descrito su aplicación en micropalancas, en las cuales la constante k tiene un significado directo y claro, ninguno de los sistemas de control del factor de calidad de las horquillas resonantes del estado de la técnica antes mencionados garantiza el control de las fuerzas cortantes aplicadas a las muestras en condiciones de interacción cambiantes, es decir, el control de la relación fuerza-distancia.

20 Además, hasta ahora era necesario disponer de diferentes sensores con diferentes sensibilidades para el mismo experimento, y no era posible intercambiarlos durante la exploración.

25 EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

Algunos de los inconvenientes o limitaciones del estado de la técnica se evitan o disminuyen mediante la presente invención, que proporciona un dispositivo de microscopía que comprende:

- 30 - una sonda de horquilla resonante,
- una fuente para excitar la sonda de horquilla resonante,
- un sensor para medir directa o indirectamente la amplitud de oscilación de la sonda de horquilla resonante,
- un primer lazo de control ajustado para controlar el factor de calidad de la
35 sonda de horquilla resonante, y
- un segundo lazo de control que actúa sobre la fuente en respuesta a la señal suministrada por el sensor, estando ajustado el segundo lazo de

control para controlar la amplitud de oscilación a un valor predeterminado constante cuando el dispositivo de microscopía no interacciona con un objeto.

- 5 De hecho, con el dispositivo de microscopía de la invención es posible fijar valores constantes de la amplitud y factor de calidad independientemente. La constante de fuerza, que determina en última instancia la fuerza ejercida sobre la muestra, es decir la constante k , será por lo tanto proporcional a A/Q , siendo A constante.

10

Se sabe (cf. p.ej. el artículo de T. Tung et al. antes citado) que la fuerza de interacción (fuerza cortante, *shear force*, F_{sf}) obedece a la siguiente ecuación, donde A_{osc} es la amplitud de oscilación cuando existe interacción, K_{norm} es la constante de muelle estática de la horquilla resonante, Q es el

15 factor de calidad de la resonancia, y A_0 es la amplitud de oscilación cuando la fuerza de interacción es nula:

$$F_{sf} = \left(1 - \Delta_{A_{osc}}\right) \left(\frac{K_{norm}}{\sqrt{3} \cdot Q}\right) A_0$$

20

Si se identifican términos en el miembro derecho de la ecuación, se puede ver que el único factor que varía es la amplitud de oscilación (A_{osc}), permaneciendo constantes los restantes términos.

25

Se ha demostrado experimentalmente que la relación entre la fuerza de interacción entre la sonda y la muestra es lineal para pequeños desplazamientos en la dirección Z según la ley de Hooke's, que se escribe como:

$$F = K_s \cdot z$$

donde:

30

$$K_s = C \cdot A / Q$$

siendo C una constante, A la amplitud de vibración y Q el factor de calidad.

Por otro lado, la posibilidad de controlar tanto el factor de calidad como la amplitud independientemente permite disponer de diferentes rigideces efectivas (K_s), es decir disponer virtualmente de múltiples sensores en uno solo, fijando un parámetro y variando el otro.

5

Así, no es necesario cambiar la sonda para cada experimento o manipulación dependiendo de las propiedades mecánicas de la muestra, lo cual es obligatorio en los dispositivos del estado de la técnica. Las muestras biológicas tienen diferentes propiedades mecánicas, como por ejemplo el

10 módulo de Cizalla de Young, la adherencia, las propiedades visco-elásticas, etc., y es necesario escoger la sensibilidad de fuerza correcta del dispositivo en cada caso.

Según otras características ventajosas de la invención, aunque no limitativas:

15

- El dispositivo de microscopía comprende un tercer lazo de control ajustado para controlar la distancia de la sonda de horquilla resonante con respecto al objeto a explorar.
- 20 - El sensor es un sensor de corriente que permite medir la amplitud de la corriente y el desfase entre la corriente y el voltaje de excitación aplicado a la sonda de horquilla resonante.
- La fuente aplica un voltaje a la sonda de horquilla resonante, actuando el
- 25 segundo lazo de control sobre la amplitud de voltaje de excitación en respuesta a la señal de corriente suministrada por el sensor.
- El primer lazo de control controla el factor de calidad aplicando un voltaje a la sonda de horquilla resonante como respuesta al desfase suministrada por
- 30 el sensor.
- El tercer lazo de control ajusta la distancia como función de la amplitud de la corriente y/o el desfase entre la corriente y el voltaje suministrados por el
- 35 sensor.
- El dispositivo de microscopía comprende medios de compensación de la capacidad para compensar la capacitancia parásita de la sonda de horquilla

resonante.

- Los medios de compensación de la capacitancia están conectados como una entrada paralela a la sonda de horquilla resonante.

5

- El sensor es un sensor de transimpedancia.

La invención también se refiere a una unidad de control electrónica para un nanosensor basado en una horquilla resonante que comprende:

- 10
- una conexión a una fuente para excitar una sonda de horquilla resonante,
 - un sensor para medir directa o indirectamente la amplitud de oscilación de la sonda de horquilla resonante,
 - un primer lazo de control ajustado para controlar el factor de calidad de la sonda de horquilla resonante, y
 - 15 - un segundo lazo de control que actúa sobre la fuente en respuesta a la señal suministrada por el sensor, estando el segundo lazo de control configurado para controlar la amplitud de oscilación a un valor predeterminado constante cuando el dispositivo de microscopía no interacciona con un objeto.

20

Así, esta unidad de control, que proporciona las ventajas expuestas más arriba, se puede emplear en un microscopio de horquilla resonante solamente con hacer las conexiones necesarias.

25 Ventajosamente, la unidad de control electrónica puede incluir las siguientes características no limitativas:

- El sensor es un sensor de corriente que permite medir la amplitud de la corriente y el desfase entre la corriente y el voltaje aplicados a la sonda de
30 horquilla resonante.

- La fuente es una fuente de tensión para la sonda de horquilla resonante, siendo el segundo lazo de control capaz de actuar sobre la amplitud de voltaje de excitación como respuesta a la señal de intensidad suministrada
35 por el sensor.

- El primer lazo de control es capaz de controlar el factor de calidad

aplicando un voltaje a la sonda de horquilla resonante en respuesta al desfase suministrada por el sensor.

5 - La unidad de control comprende medios de compensación de la capacitancia para compensar la capacitancia parásita de la sonda de horquilla resonante.

- Y los medios de compensación de la capacitancia se pueden conectar como una entrada en paralelo a la sonda de horquilla resonante.

10

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos
15 y dibujos se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas.

20

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La FIG. 1 muestra una representación esquemática de los elementos esenciales del dispositivo de la invención.

25

La FIG. 2 muestra diferentes curvas de respuesta en frecuencia del mismo sensor, variando electrónicamente el factor de calidad manteniendo la amplitud de oscilación constante.

30

La FIG. 3 muestra la relación Fuerza cortante en función de la distancia para diferentes valores de Q .

La FIG. 4 muestra la misma relación que la FIG.4 pero variando la amplitud.

35

La FIG. 5 muestra un dibujo esquemático de los elementos esenciales de la unidad de control de la invención y las conexiones con los otros componentes del microscopio.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERIDAS

Tal como se muestra en la FIG. 1, la invención se basa parcialmente en un
5 dispositivo de microscopía 1 de tipo conocido que comprende una sonda de
horquilla resonante TF, una fuente 2 para excitar la sonda de horquilla
resonante TF, un sensor 3 para medir directa o indirectamente la amplitud de
oscilación A de la sonda de horquilla resonante TF y un primer lazo de
control CL1 ajustado para controlar el factor de calidad de la sonda de
10 horquilla resonante Q . A lo conocido en la técnica, el dispositivo de la
invención añade un segundo lazo de control CL2 que actúa sobre la fuente 2
en respuesta a la señal suministrada por el sensor 3, estando ajustado el
segundo lazo de control CL2 para controlar la amplitud de oscilación A a un
valor predeterminado constante cuando el dispositivo de microscopía 1 no
15 interacciona con un objeto S .

El efecto de la invención resulta aparente de las curvas mostradas en las
FIGs. 2 y 3. La FIG. 2 muestra el efecto del sistema de control de la
invención. Mientras que en los dispositivos del estado de la técnica el cambio
20 en el factor de calidad implica una modificación de la amplitud, el segundo
lazo de control de la invención permite cambiar el factor de calidad, cuyos
diferentes valores para las diferentes curvas están indicados arriba a la
derecha en el gráfico, haciendo posible predecir el comportamiento de la
sonda, es decir su "rigidez" efectiva.

25 La FIG. 3 muestra la relación entre la fuerza y la distancia sonda muestra,
para una amplitud fijada y diferentes factores de calidad. Tal como se
muestra, ajustando diferentes factores de calidad permite disponer de
diferentes pendientes, es decir, diferentes curvas F - z , cada una de ellas
30 caracterizada por una constante k_i diferente.

Estas curvas se obtuvieron fijando A y diferentes Q y moviendo relativamente
entre sí la muestra y la sonda.

35 Además, la invención permite establecer diferentes amplitudes. Esto se
muestra en la FIG. 4, que muestra las mismas magnitudes que en la FIG. 3,
pero variando la amplitud en lugar del factor de calidad, que se fijó en 1400.

En este caso, la amplitud está representada por el voltaje aplicado. La amplitud y el voltaje están relacionados tal como se establece en la siguiente expresión (cf. por ejemplo J. Liu et al., "A simple y accurate method for
 5 calibrating the oscillation amplitude of tuning-fork based AFM sensors", Ultramicroscopy 2008, vol. 109, pp. 81-84):

$$10 \quad A_o = \sqrt{\frac{Q_m \cdot V_{rms} \cdot I_{rms}}{K_{norm} \cdot \omega_n}}$$

Donde Q_m es el factor de calidad mecánico, K_{norm} es la constante de muelle de la horquilla resonante, V_{rms} e I_{rms} son la diferencia de potencial en bornes
 15 de la horquilla resonante y la intensidad que circula por ésta y ω_n es la frecuencia de resonancia natural de la horquilla.

Para aumentar la resolución lateral y reducir la fuerza de interacción (y por lo tanto la disipación), el dispositivo permite establecer la amplitud A_0 mínima.

20 La invención también se refiere a una unidad de control para un nanosensor basado en una horquilla resonante (CU) que se puede suministrar individualmente e integrar en un dispositivo existente. La unidad de control comprende los elementos incluidos en el cuadro de línea discontinua de la
 25 FIG.1.

Tal como se muestra en la FIG. 5, esta unidad de control se puede acoplar a un microscopio existente. La unidad de control tiene dos terminales destinados a ser conectados a la horquilla resonante, una entrada para la
 30 fuente de voltaje V_{ref} y una salida para la intensidad, destinada a ser usada por el sistema de control principal.

También comprende tres mandos que permiten ajustar el factor de calidad y la amplitud apropiados, y compensar la capacitancia parásita.

35 El primer lazo de control emplea el desfase medido para controlar el voltaje . El segundo lazo de control es preferentemente un control proporcional

Integrador PI. Los tiempos de respuesta de ambos se deben seleccionar de modo que el tiempo característico del Segundo lazo de control sea dos órdenes de magnitud mayor que el primero, para poder medir los cambios de amplitud durante la exploración.

5

En una realización más compleja la unidad de control puede incluir entradas digitales, para controlarla remotamente, un puerto de comunicación etc.

10

La unidad de control puede incorporar ella misma una fuente de voltaje e incluso un amplificador de Lock-in, que proporciona la señal I_{sensor} a partir de la cual determina la amplitud y la fase. Con esta disposición, las salidas del dispositivo serán directamente la amplitud A y la fase φ .

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de microscopía (1) que comprende:
- una sonda de horquilla resonante (TF),
 - 5 - una fuente (2) para excitar la sonda de horquilla resonante (TF),
 - un sensor (3) para medir directa o indirectamente la amplitud de oscilación (A) de la sonda de horquilla resonante (TF), y
 - un primer lazo de control (CL1) ajustado para controlar el factor de calidad (Q) de la sonda de horquilla resonante;
- 10 **caracterizado porque** comprende un segundo lazo de control (CL2) que actúa sobre la fuente (2) en respuesta a la señal suministrada por el sensor (3), estando ajustado el segundo lazo de control (CL2) para controlar la amplitud de oscilación (A) a un valor predeterminado constante cuando el dispositivo de microscopía (1) no interacciona con un objeto (S).
- 15 2. Dispositivo según la reivindicación 1, que además comprende un tercer lazo de control (CL3) ajustado para controlar la distancia (z) desde la sonda de horquilla resonante (TF) con respecto al objeto (S) a explorar.
- 20 3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sensor (3) es un sensor de corriente que permite medir la amplitud de la corriente (I) y el desfase (φ) entre la corriente (I) y el voltaje de excitación (V_{drive}) aplicado a la sonda de horquilla resonante (TF).
- 25 4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente (2) aplica un voltaje (V_{drive}) a la sonda de horquilla resonante (TF), actuando el segundo lazo de control (CL2) sobre la amplitud de voltaje de excitación (V_{drive}) en respuesta a la señal de corriente (I) suministrada por el sensor (3).
- 30 5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4, en el que el primer lazo de control (CL1) controla el factor de calidad (Q) aplicando un voltaje ($V_{Q-control}$) a la sonda de horquilla resonante (TF) en respuesta al desfase (φ) suministrado por el sensor (3).
- 35 6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el tercer lazo de control (CL3) ajusta la distancia (z) como función de la

amplitud de la corriente (I) y/o el desfase (φ) entre la corriente (I) y el voltaje (V_{drive}) suministrados por el sensor (3).

7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que
5 comprende medios de compensación de la capacidad (4) para compensar la capacitancia parásita de la sonda de horquilla resonante (TF).

8. Dispositivo según la reivindicación anterior, en el que los medios de
compensación de la capacitancia (4) están conectados como una entrada
10 paralela a la sonda de horquilla resonante (TF).

9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que
el sensor (3) es un sensor de transimpedancia.

10. Unidad de control (CU) para un nanosensor basado en una horquilla
resonante que comprende:
- medios para conectar la unidad de control a una fuente (2) para excitar una
sonda de horquilla resonante (TF),
- un sensor (3) para medir directa o indirectamente la amplitud de oscilación
20 (A) de una sonda de horquilla resonante (TF), y
- un primer lazo de control (CL1) ajustado para controlar el factor de calidad
(Q) de la sonda de horquilla resonante;
caracterizada porque comprende un segundo lazo de control (CL2) que
actúa sobre la fuente (2) en respuesta a la señal suministrada por el sensor
25 (3), estando ajustado el segundo lazo de control (CL2) para controlar la
amplitud de oscilación (A) a un valor predeterminado constante cuando el
dispositivo de microscopía (1) no interacciona con un objeto (S).

11. Unidad según la reivindicación anterior, donde el sensor (3) es un sensor
30 de corriente que permite medir la amplitud de la corriente (I) y el desfase (φ)
entre la corriente (I) y el voltaje (V_{drive}) aplicado a la sonda de horquilla
resonante (TF).

12. Unidad según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, donde la fuente
35 (2) es una fuente de tensión (V_{drive}) para la sonda de horquilla resonante (TF),
siendo el segundo lazo de control (CL2) capaz de actuar sobre la amplitud de
voltaje de excitación (V_{drive}) en respuesta a la señal de intensidad (I)

suministrada por el sensor (3).

13. Unidad según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, donde el primer
lazo de control (CL1) es capaz de controlar el factor de calidad (Q) aplicando
5 un voltaje ($V_{Q-control}$) a la sonda de horquilla resonante (TF) en respuesta al
desfase (ϕ) suministrado por el sensor (3).

14. Unidad según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que comprende
medios de compensación de la capacitancia (4) para compensar la
10 capacitancia parásita de la sonda de horquilla resonante (TF).

15. Unidad según la reivindicación anterior, donde los medios de
compensación de la capacitancia (4) se pueden conectar como una entrada
en paralelo a la sonda de horquilla resonante (TF).

15

Fig. 1

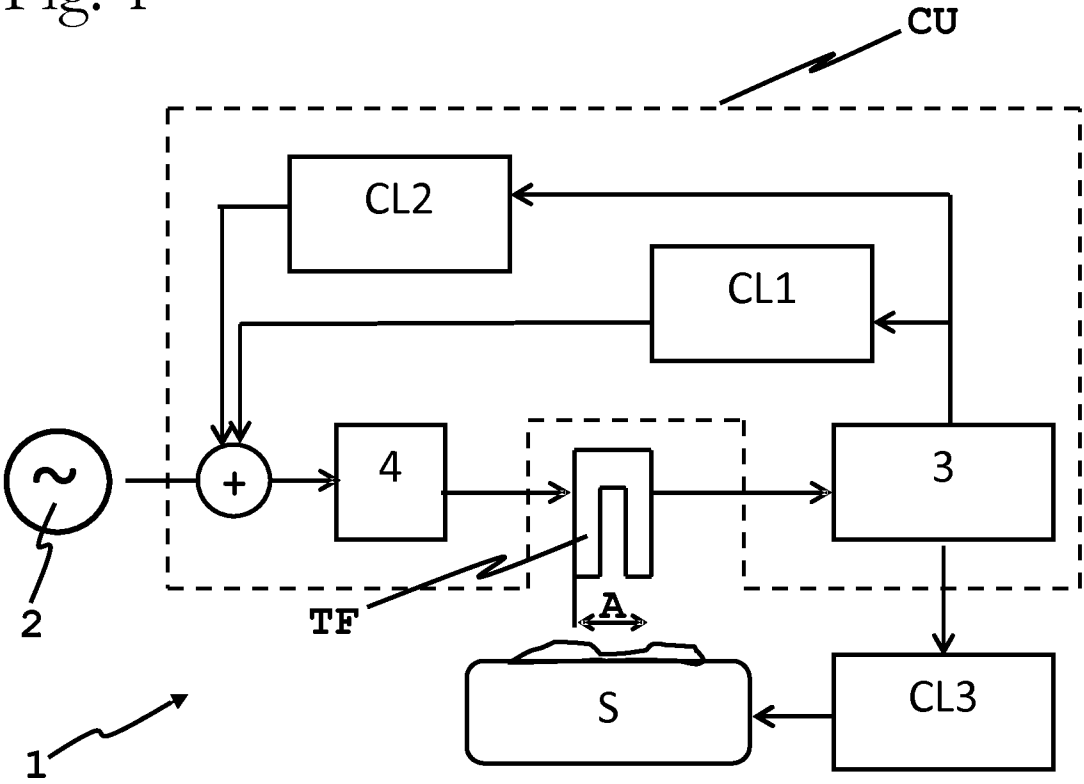


Fig. 2

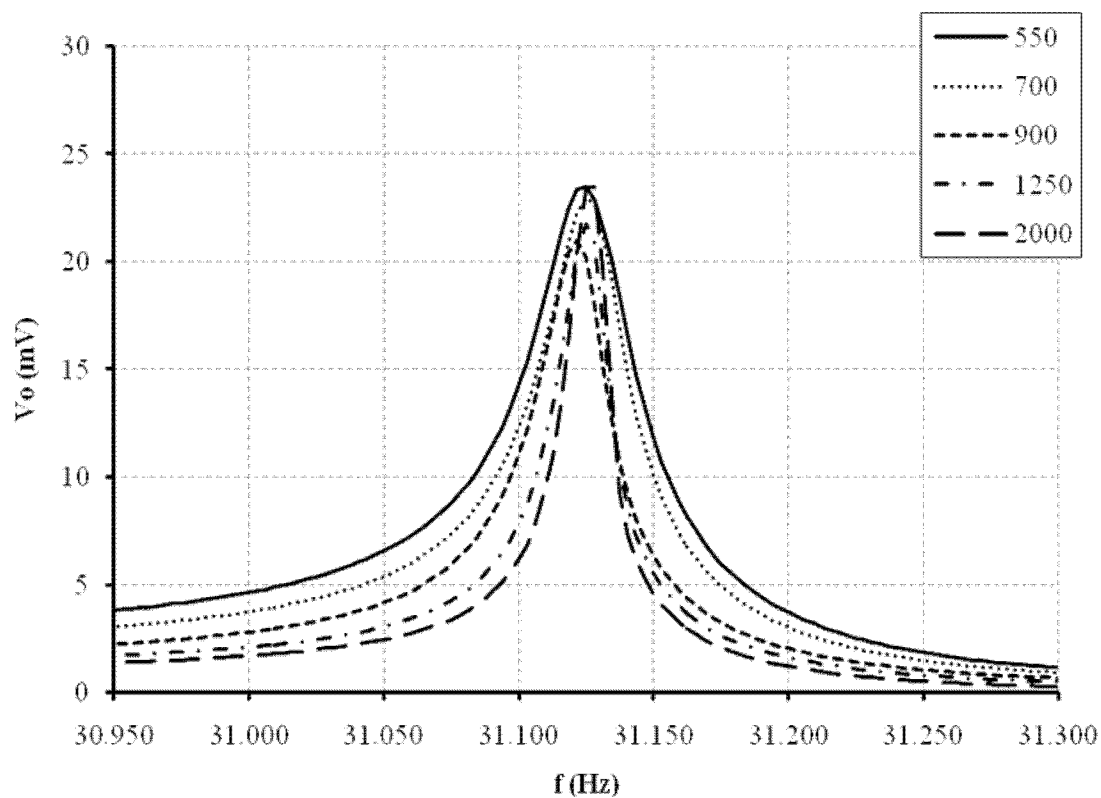


Fig. 3

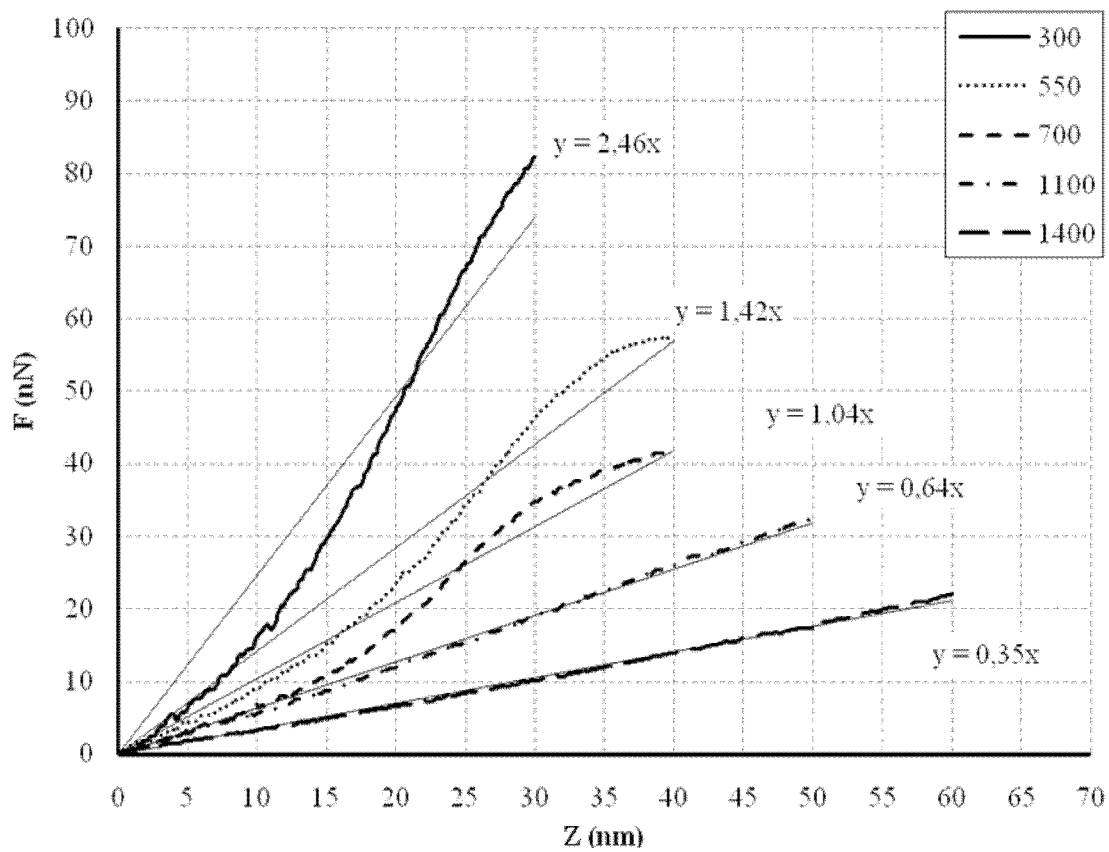


Fig. 4

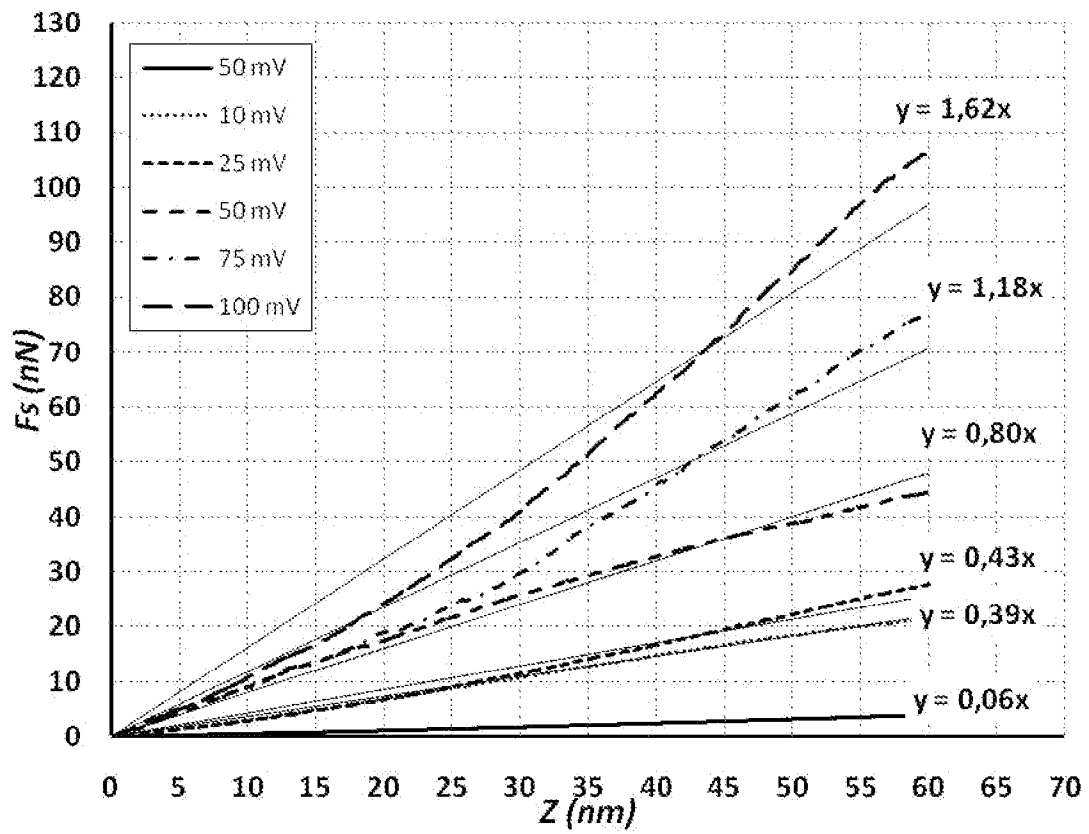
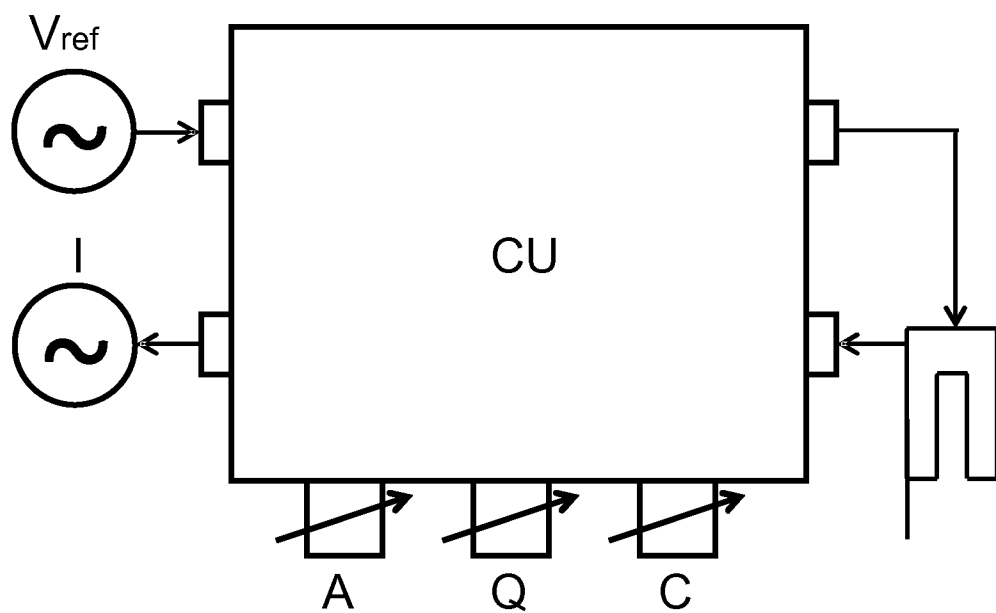


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2011/070535

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01Q, B82Y

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, EPODOC, TXTEN, TXTG, TXTF, XPAIP,XPESP,XPESP2, XPIEE, XPI3E, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, MEDLINE, Internet

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TUNG, V.T. et al. Parameters of tip-sample interactions in shear mode using a quartz tuning fork AFM with controllable Q-factor. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Vol.82, No. 1, 2009, pages 140-148 [on line], [retrieved on 2011-12-22]. Retrieved from Internet <URL: http://nanosciencelab.info/pdf/fulltext_05.pdf > <DOI: :10.1007/s10891-009-0155-3>	1-15
Y	US 6008489 A (ELINGS VIRGIL B ET AL.) 28/12/1999, the whole document.	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
29/12/2011

Date of mailing of the international search report
(09.01.2012)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer
A. Figuera González

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3495516

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2011/070535

C (continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TUNG, V.T. et al. Introduction to a quartz tuning fork combined with scanning probe microscope.	7,8
A	In: VIII Belarussian Seminar on Scanning Probe Microscopy <URL: http://byspm.narod.ru/2008/byspm2008proc.htm >, 2008, pages 132-141 [on line], [retrieved the 2011-12-29]. Retrieved from Internet <URL: http://microtm.narod.ru/byspm/2008/pdf/byspm2008-25-p132-141.pdf >	1
A	Varios autores. Current-to-voltage converter. Wikipedia, 13 of June 2010. [on line], [retrieved on 2011-12-29]. Retrieved from Internet <URL: http://in.wikipedia.org/w/index.php?title=Current-to-voltage_converter&oldid=367704676 >	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2011/070535

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US6008489	28.12.1999	NONE	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2011/070535

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01Q10/04 (2010.01)

G01Q20/04 (2010.01)

B82Y15/00 (2011.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2011/070535

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver Hoja Adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01Q, B82Y

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, WPI, EPODOC, TXTEN, TXTG, TXTF, XPAIP,XPESP,XPESP2, XPIEE, XPI3E, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, MEDLINE, Internet

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
Y	TUNG, V.T. et al. Parameters of tip-sample interactions in shear mode using a quartz tuning fork AFM with controllable Q-factor. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Vol. 82, No. 1, 2009 , páginas 140-148 [en línea], [recuperado el 2011-12-22]. Recuperado de Internet <URL: http://nanosciencelab.info/pdf/fulltext_05.pdf > <DOI: :10.1007/s10891-009-0155-3>	1-15
Y	US 6008489 A (ELINGS VIRGIL B ET AL.) 28/12/1999, todo el documento.	1-15

☒ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
29/12/2011

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
09 ENERO 2012 (09.01.2012)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
A. Figuera González
Nº de teléfono 91 3495516

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2011/070535

C (Continuación). DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES		
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
Y	TUNG, V.T. et al. Introduction to a quartz tuning fork combined with scanning probe microscope.	7,8
A	En: VIII Belarussian Seminar on Scanning Probe Microscopy <URL: http://byspm.narod.ru/2008/byspm2008proc.htm >, 2008, páginas 132-141 [en línea], [recuperado el 2011-12-29]. Recuperado de Internet <URL: http://microtm.narod.ru/byspm/2008/pdf/byspm2008-25-p132-141.pdf >	1
A	Varios autores. Current-to-voltage converter. Wikipedia, 13 de junio de 2010. [en línea], [recuperado el 2011-12-29]. Recuperado de Internet <URL: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Current-to-voltage_converter&oldid=367704676 >	9

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2011/070535

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US6008489 -----	28.12.1999 -----	NINGUNO -----	-----

CLASIFICACIONES DE INVENCION

G01Q10/04 (2010.01)

G01Q20/04 (2010.01)

B82Y15/00 (2011.01)