

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 331**

21 Número de solicitud: 201031456

51 Int. Cl.:

**G01Q 10/00** (2010.01)

**G01Q 30/10** (2010.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**30.09.2010**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**20.02.2013**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID  
C/ Einstein, 3  
28049 Madrid ES**

72 Inventor/es:

**SUDEROW RODRIGUEZ, Hermann;  
VIEIRA DÍAZ, Sebastián;  
GUILLAMÓN GÓMEZ, Isabel;  
BUENDÍA ALMANSA, Andrés y  
PAZOS ABREU, Manuel**

74 Agente/Representante:

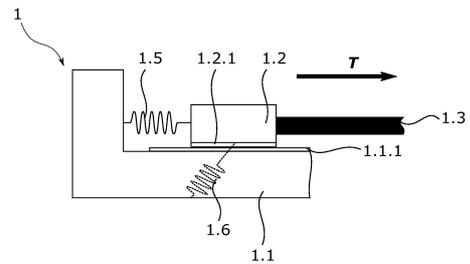
**ARIAS SANZ, Juan**

54 Título: **DISPOSITIVO POSICIONADOR PARA MICROSCOPIOS OPERABLE EN ENTORNOS CRIOGÉNICOS**

57 Resumen:

La presente invención proporciona un dispositivo posicionador que presenta una alta estabilidad mecánica por lo que puede ser incorporado en un microscopio de sonda local, siendo operable en entornos criogénicos, en especial a bajas temperaturas, a muy bajas temperaturas, y a temperaturas menores que 100 mK, y adicionalmente en presencia de altos campos magnéticos. El dispositivo comprende una base solidaria del microscopio de sonda local, un portamuestras, unos medios de guiado entre la base y el portamuestras y un actuador situado fuera del recinto de bajas temperaturas. Unos medios de transmisión de fuerza aislantes térmicamente transmiten el impulso del actuador al portamuestras. La fricción entre la base y el portamuestras está minimizada al máximo.

FIG. 1B



**DISPOSITIVO POSICIONADOR PARA MICROSCOPIOS OPERABLE EN ENTORNOS  
CRIOGÉNICOS**

**DESCRIPCIÓN**

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención proporciona un dispositivo posicionador que presenta una alta estabilidad mecánica por lo que puede ser incorporado en un microscopio de sonda local, siendo operable en entornos criogénicos, en especial a bajas temperaturas, a muy bajas temperaturas, y a temperaturas menores que 100 mK y en presencia de altos campos magnéticos.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

15

Los dispositivos de posicionamiento son especialmente útiles en aquellas aplicaciones que requieren la manipulación espacial de objetos en entornos donde el acceso a los componentes no es posible o deseable.

20

Cuando estos dispositivos se implementan en entornos que se encuentran a muy baja presión (alto vacío  $p < 10^{-6}$  mbar, ultra alto vacío  $p < 10^{-9}$  mbar, vacío criogénico), con altos campos magnéticos ( $H \sim 1-20$  T) o en entornos criogénicos — especialmente a bajas temperaturas ( $T < 4.2$  K) y muy bajas temperaturas ( $T < 1.2$  K) —, se plantean restricciones propias de la adaptación en dichos entornos extremos, y los dispositivos deben adaptarse para superar los problemas específicos de los mismos. En adelante se denominarán como “temperaturas criogénicas” a aquellas temperaturas por debajo de 10 K y que comprenden los rangos de bajas temperaturas, muy bajas temperaturas y temperaturas por debajo de 100 mK.

30

Además, es necesario tener en cuenta condicionantes adicionales en aquellos dispositivos que son útiles para su aplicación en el campo de las microscopías de barrido de sonda local (del inglés “*Scanning Probe Microscopy*”, SPM), como la microscopía de efecto túnel (del inglés “*Scanning Tunneling Microscopy*”, STM), la familia de microscopías de fuerzas atómicas (del inglés “*Atomic Force Microscopy*”, AFM) o las microscopías de campo óptico cercano (del inglés “*Scanning Near-field Optical Microscopy*”, SNOM). Estas técnicas de microscopía se emplean para estudiar y caracterizar muestras utilizando la información proporcionada por la interacción local entre una

35

sonda y una muestra. A modo de ejemplo, en una implementación típica de un STM la sonda es una punta metálica y la muestra es una superficie conductora. Dependiendo de los requerimientos de la muestra a estudiar, es necesario adaptar estos instrumentos para que tengan una estabilidad mecánica alta. Así, aplicaciones como la topografía  
 5 de superficies con resolución atómica necesitan conseguir típicamente medidas con precisión de picómetros.

El tamaño de la región que puede ser estudiada con estos microscopios está limitado por el desplazamiento lateral máximo de la sonda respecto a la muestra  
 10 que permite el sistema de barrido (típicamente del orden de las micras). Esta región pequeña, en adelante "*región de observación*", comprende una zona de estudio cuya superficie varía desde la escala atómica ( $\sim 10^{-20} \text{ m}^2$ ) hasta el rango de los micrómetros ( $\sim 10^{-12} \text{ m}^2$ ) dependiendo de la implementación particular de la técnica. Para realizar este movimiento se utiliza un actuador que permite mover la sonda con respecto a la  
 15 muestra, generalmente realizando un barrido. A este actuador se le suele designar con el término del inglés "scanner". Dicho actuador de barrido o scanner se suele implementar mediante tubos de material piezoeléctrico adaptados para proporcionar movimiento en las tres direcciones espaciales, conocidos comúnmente como "*piezotubos*".

20 Se presenta por tanto la necesidad de proporcionar un dispositivo posicionador que pueda ser adaptado para posicionar una o varias muestras a distancias suficientemente grandes tal que permitan desplazar dichas muestras dentro de la región de observación de un microscopio. Para ello, los dispositivos de posicionamiento deben ofrecernos la posibilidad de realizar trayectos del orden de mm con al menos precisión sub-micrométrica, alta estabilidad mecánica y posibilidad de manejo a distancia.  
 25

En el estado de la técnica es posible encontrar dispositivos de posicionamiento basados en motores piezoeléctricos. Podemos distinguir aquellas enseñanzas  
 30 técnicas dirigidas a motores piezoeléctricos que mueven una pieza u objeto móvil pequeño, tal como un portamuestras, basándose en la inercia del mismo. En estos sistemas el objeto móvil pequeño se desplaza respecto a su actuador cuando a éste se le suministra un voltaje que varía con el tiempo en dos fases. En una primera fase el piezoeléctrico se deforma una distancia a un ritmo suficientemente lento arrastrando al  
 35 objeto móvil con el actuador gracias a la fuerza de fricción (estática) entre el actuador y el objeto móvil. A continuación, en una segunda fase, el actuador invierte el sentido del movimiento para retrotraerse de una manera suficientemente rápida como para

que el objeto móvil se deslice con respecto al actuador. Repitiendo esta secuencia es posible desplazar objetos pequeños. En estos sistemas es crítico el ajuste de la fuerza de fricción entre el actuador y objeto móvil. Es importante que la fuerza de fricción estática sea significativamente menor que la fuerza de fricción dinámica en el rango de frecuencias en el que se retrotrae el actuador. El uso de lubricantes, junto la elección de una relación de masas entre el objeto móvil y el actuador, son aspectos claves para construir un sistema operativo. Además, estos dispositivos pueden dar lugar a un tamaño de paso que no sea fácilmente reproducible, al depender de varios parámetros como la masa, la forma de la superficie o la orientación del peso y del plano de fricción.

Los motores piezoeléctricos de pasos (conocidos por el término del inglés “*stepper*”) son capaces de trasladar objetos pequeños realizando una pluralidad de pasos. Este tipo de motores de pasos son operables en entornos como los anteriormente citados, siendo posible implementar sistemas de posicionamiento adecuados para su uso en microscopías de sonda local.

Mediante un conjunto de actuadores piezoeléctricos es posible mover la pieza u objeto móvil de pequeño tamaño. Para ello un conjunto de actuadores se disponen en contacto con el objeto móvil de pequeño tamaño. Cada actuador está alimentado por una señal eléctrica siendo posible deformar cada actuador piezoeléctrico individualmente. De esta forma, la deformación de cada actuador permite implementar movimientos colectivos y movimientos individuales. Durante el movimiento colectivo se mueven todos los actuadores a una velocidad suficientemente lenta como para que el objeto móvil se desplace con ellos debido a que la relación entre la fricción y la inercia permite que no se produzca deslizamiento entre el objeto móvil y el actuador. Durante el movimiento individual un actuador o grupo de actuadores realizan un movimiento suficientemente rápido en el que el objeto móvil de pequeño tamaño se desliza con respecto a cada actuador o grupo de actuadores. Cada actuador o grupo de actuadores actúa individualmente mientras que el resto permanecen estáticos proporcionando una oposición debido a la fricción estática entre el objeto móvil y el resto de actuadores.

Otros motores que utilizan piezoeléctricos conocidos como “*Inchworms*” utilizan un elemento piezoeléctrico cilíndrico. Estos motores se basan en una secuencia de pasos que comprende la contracción de un elemento piezoeléctrico cilíndrico para atrapar un objeto móvil, generalmente situado de forma coaxial. En un paso siguiente

se induce una deformación axial en el elemento piezoeléctrico cilíndrico paralela a su generatriz que traslada al objeto móvil una distancia en la dirección de la generatriz. A continuación, se produce una deformación axial que aumenta el diámetro del elemento piezoeléctrico cilíndrico que permite soltar el objeto móvil. Al realizar esta secuencia de pasos es posible mover dicho objeto de forma reproducible a lo largo de una dirección paralela a la generatriz del piezotubo.

Todos estos motores se basan en la deformación de un elemento piezoeléctrico. Sin embargo, los elementos piezoeléctricos presentan pérdidas, intrínsecas a los materiales piezoeléctricos. Estas pérdidas son mayores en las cerámicas piezoeléctricas, que son los materiales que mayor valor tecnológico presentan a priori para implementar un dispositivo posicionador ya que tienen un mayor valor de coeficiente piezoeléctrico, y por tanto son capaces de proporcionar el mayor rango de desplazamientos.

Las pérdidas más relevantes para un actuador se producen al aplicar un campo eléctrico dentro del piezoeléctrico para provocar una deformación del mismo. Estas pérdidas se traducen en una disipación de energía en forma de calor. Así, en los dispositivos posicionadores presentes en el estado de la técnica, cada paso provoca un calentamiento en una zona cercana a la muestra. Estas pérdidas resultan en un calentamiento al mover la pieza u objeto móvil que se incrementa con el número de pasos a realizar. En los dispositivos de posicionamiento presentes en el estado de la técnica la potencia disipada en forma de calor puede alcanzar de forma habitual valores en el rango de las decenas de milivatios. Estos valores de potencia disipada son muy superiores a la capacidad de enfriamiento que presentan las técnicas de refrigeración que permiten alcanzar temperaturas criogénicas. Así, cuando se requiere realizar una observación a temperaturas criogénicas, el calentamiento debido a esta disipación en forma de calor se traduce en un aumento significativo de la temperatura de la muestra.

El desplazamiento que es capaz de proporcionar un actuador piezoeléctrico depende del coeficiente piezoeléctrico, y disminuye con la temperatura según el material utilizado como piezoeléctrico. Así, según se disminuye la temperatura de operación se disminuye el desplazamiento máximo proporcionado por cada actuador en mayor o menor medida dependiendo del piezoeléctrico y de la configuración del actuador. Por ejemplo, la relación entre el desplazamiento y el voltaje aplicado en un actuador de cizalla puede llegar típicamente a reducirse a bajas temperaturas a una cuarta parte

del que se observa a temperatura ambiente, disminuyendo aún más a muy bajas temperaturas. Este fenómeno hace necesario aumentar el número de pasos a realizar para desplazar el objeto la misma distancia, lo que aumenta el calor disipado por el actuador. Por tanto, las pérdidas son más importantes cuando menor es el desplazamiento  
5 máximo proporcionado por cada actuador.

Para alcanzar estas temperaturas es necesario utilizar técnicas criogénicas que implican el uso de un refrigerador. El foco frío de un refrigerador se mantiene por debajo de una determinada temperatura a condición de que el calor generado por  
10 unidad de tiempo sea menor que un valor, llamado "potencia de refrigeración". Cuando un cuerpo o instrumento se sitúa en contacto térmico con el foco frío, éste adquiere en equilibrio una temperatura que depende de la conductividad térmica del contacto térmico, del calor que se genera en el instrumento y de la potencia de refrigeración del refrigerador. Es necesario proporcionar un contacto térmico que minimiza la dife-  
15 rencia de temperatura entre el foco frío y el cuerpo o instrumento en contacto térmico. A este proceso se le denomina "termalización". Típicamente, una termalización adecuada implica que la diferencia de temperatura entre el foco frío y el instrumento sea menor que un 1% de la temperatura del foco frío. La potencia de refrigeración y la termalización de un cuerpo o un instrumento disminuye según baja la temperatura del  
20 foco frío, dependiendo de la técnica de refrigeración utilizada, y por tanto empeora la termalización del instrumento. Una cota superior típica sería una potencia de enfriamiento del orden de 1 mW para un foco frío a 100 mK y una potencia de decenas de  $\mu$ W para temperaturas menores de 100 mK.

25 Un tipo de refrigerador capaz de enfriar objetos a estas temperaturas es el refrigerador de dilución de  $^3\text{He}$  en  $^4\text{He}$ . Con un refrigerador de dilución es posible alcanzar muy bajas temperaturas y temperaturas menores que 100 mK teniendo una temperatura base operativa típicamente en el rango de decenas de milikelvin. Esta temperatura base depende tanto de su diseño como del modo de operación, siendo  
30 una cota inferior típica 5 mK. La potencia de refrigeración de estos refrigeradores de dilución no disminuye de forma tan abrupta con la temperatura respecto a otras técnicas de refrigeración criogénica en el rango de las muy bajas temperaturas, siendo capaces de proporcionar potencias de enfriamiento o refrigeración superiores a otros tipos de refrigeradores por debajo de unos 400 mK.

35

El funcionamiento de un refrigerador de dilución puede prolongarse en principio durante largos periodos de tiempo al ser un ciclo cerrado. No obstante, un

diseño muy usual de un refrigerador de dilución incorpora un baño  $^4\text{He}$  líquido. En este caso el tiempo de operación a temperaturas criogénicas está muchas veces limitado por la cantidad de  $^4\text{He}$  y el consumo de  $^4\text{He}$  del refrigerador. Este consumo de  $^4\text{He}$  se ve incrementado si se utilizan altos campos magnéticos ( $H \sim 1\text{--}20\text{ T}$ ), proporcionados por un imán en el estado superconductor que también se encuentra a bajas temperaturas sumergido en el baño de  $^4\text{He}$ . Por tanto es deseable proporcionar un diseño que reduzca el tiempo necesario para termalizar aquellos componentes a enfriar a temperaturas criogénicas (tiempo de enfriamiento,  $\tau_c$ ).

10 Estas limitaciones de potencia hacen necesario utilizar diseños y materiales en los dispositivos que son operables a bajas temperaturas, muy bajas temperaturas y a temperaturas menores que 100 mK, adaptados para permitir que se produzca una termalización adecuada de los mismos con la potencia de refrigeración suministrada por el foco frío del refrigerador. Los objetos a enfriar deben tener una capacidad calorífica adecuada al refrigerador, y deben estar en contacto térmico con el foco frío. En 15 el estado de la técnica se recomienda para estas aplicaciones el uso de materiales buenos conductores del calor, como el cobre, la plata y aquellas aleaciones que son especialmente adecuadas a bajas temperaturas, a muy bajas temperaturas, y a temperaturas menores que 100 mK. Esta selección se basa en que la conductividad térmica sea la más alta posible y el calor específico el más bajo posible. 20

A la hora de la selección del material para las aplicaciones de microscopía es necesario tener en cuenta una restricción adicional. Muchos de los materiales que como el Cu presentan las mejores características térmicas en el rango de las temperaturas criogénicas pero presentan, por el contrario, unas propiedades mecánicas que los hacen desaconsejables desde el punto de vista de la estabilidad mecánica. A la hora de proporcionar condiciones de estabilidad mecánica, como las requeridas en las microscopías de sonda local donde puede ser necesario resolver distancias con precisión de al menos decenas de picómetros, es aconsejable utilizar materiales que permitan 25 fabricar partes del microscopio de sonda local de forma que no se vean afectadas por las vibraciones del entorno. Estas consideraciones, están unidas a las dificultades para implementar sistemas de amortiguación pasivos en entornos extremos, haciendo necesario un diseño de las partes de los microscopios que proporcione dicha estabilidad mecánica. 30

35 Por último, los dispositivos de posicionamiento presentes en el estado de la técnica, incluyendo los descritos anteriormente, necesitan de lubricantes para regu-

lar la fricción entre las piezas móviles. Cuando estos dispositivos operan en entornos criogénicos, hacen uso de lubricantes sólidos como el grafito o disulfuro de molibdeno que pueden reducir la fricción entre las piezas móviles incluso a temperaturas criogénicas.

5 En resumen, los dispositivos posicionadores en el estado de la técnica basados en motores piezoeléctricos disipan energía en forma de calor como consecuencia de las pérdidas que se producen en un material piezoeléctrico. Esta disipación aumenta con el voltaje suministrado al actuador piezoeléctrico. Cuando se opera variando fuertemente el voltaje en el dispositivo repetidas veces, como en aquellos que necesitan de varios ciclos para proporcionar un desplazamiento de un objeto, la disipación aumenta. En consecuencia, los motores piezoeléctricos presentan evidentes desventajas cuando se requiere un control sobre la temperatura del objeto en entornos donde la potencia disponible para estabilizar la temperatura es limitada.

15 Esta disipación de energía en el posicionador basado en piezoeléctricos es especialmente relevante cuando se necesita operar en el rango de bajas temperaturas, siendo crítica para operar muy bajas temperaturas, y aún más crítica según la temperatura desciende en hasta alcanzar temperaturas menores que 100 mK. Esto es debido a que la potencia de refrigeración disponible con las técnicas de refrigeración disminuye con la temperatura. Esta tendencia en la potencia de refrigeración es más abrupta por debajo de 1.2 K y se acentúa aún más por debajo de 100 mK.

25 Se hace por tanto necesario proporcionar un dispositivo posicionador capaz de operar en entornos extremos, que minimice la disipación por calor, que sea capaz de proporcionar un desplazamiento de un objeto a temperaturas criogénicas — comprendiendo los rangos de bajas temperaturas, muy bajas temperaturas y temperaturas por debajo de 100 mK—, y que sea adecuado para microscopios de sonda local.

### 30 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención proporciona un dispositivo posicionador capaz de operar en un microscopio de sonda local a temperaturas criogénicas. En un primer aspecto inventivo se proporciona un dispositivo posicionador definido por la reivindicación 1 independiente, que queda incorporada por referencia a la descripción.

*“Dispositivo posicionador para microscopios de sonda local, operable a*

*temperaturas criogénicas para posicionar una muestra en una región de observación”*

5 El dispositivo posicionador está adaptado para utilizarse en las condiciones que requiere su uso en un microscopio de sonda local, como un STM o un AFM. Así, el dispositivo posicionador es adecuado para situar una muestra en una “región de observación” de un microscopio de sonda local. Esta región de observación, como se definió anteriormente, es una región del espacio en donde un microscopio de sonda local es operable para llevar a ca-  
10 bo medidas de distintas magnitudes que caracterizan a este instrumento. Así, una región de observación puede comprender en un ejemplo el área de un barrido de la sonda con respecto a la superficie de la muestra que permite adquirir su topografía.

15 Este dispositivo posicionador presenta la capacidad de operar en entornos donde se alcanzan temperaturas criogénicas, siendo apto para su uso a bajas temperaturas, muy bajas temperaturas, y temperaturas menores que 100 mK.

20 Preferentemente, este dispositivo puede alcanzar una temperatura operativa en el rango de las muy bajas temperaturas mediante el contacto térmico entre el foco frío del refrigerador y el dispositivo posicionador. Aún más preferentemente el dispositivo posicionador es adecuado para utilizarse en un criostato equipado con un refrigerador de dilución de  $^3\text{He}$  en  
25  $^4\text{He}$ .

30 Para este propósito es necesario controlar que la potencia de enfriamiento del refrigerador sea adecuada para la capacidad calorífica del dispositivo posicionador a enfriar. También es necesario tener en cuenta que la conductividad térmica entre el foco frío del refrigerador y el dispositivo posicionador sea adecuada para que se produzca la termalización del dispositivo. Cuanto menor sea la capacidad calorífica y mayor sea la conductividad térmica de los materiales, menor será el tiempo necesario para el enfriamiento del dispositivo posicionador.

35 El dispositivo posicionador comprende:

- *“una base, adaptada para unirse de forma solidaria al microscopio*

*de sonda local,*

- *un portamuestras,*
- *unos medios de guiado entre la base y el portamuestras.”*

5 La base está adaptada para que sea posible una unión de forma solidaria que permita integrarse en un microscopio de sonda local, preferentemente de forma amovible.

10 El portamuestras, un objeto que en un ejemplo de realización que se mostrará más adelante es de pequeña masa, está adaptado para alojar muestras para su estudio con un microscopio de sonda local, preferentemente de forma amovible.

15 Los medios de guiado dirigen o guían al portamuestras, determinando su trayectoria de movimiento con respecto a la base. Esta trayectoria está adaptada para que el portamuestras, que es un objeto más pequeño que la base al que se encuentra unido, alcance una posición que permita situar la muestra dentro de la “región de observación”.

20 De acuerdo a la presente invención, el dispositivo posicionador presenta:

- *“unos medios de guiado entre la base y el portamuestras que comprenden una primera superficie de fricción dispuesta en la base y una segunda superficie de fricción dispuesta en el portamuestras de tal modo que dicha segunda superficie de fricción está adaptada para desplazarse por deslizamiento sobre la primera superficie de fricción de la base,*
- *un actuador para la impulsión del portamuestras respecto de la base.”*

30 La base comprende una primera superficie de fricción y el portamuestras comprende una segunda superficie de fricción. Estas superficies de fricción están adaptadas para ser operables a temperaturas criogénicas. En estos entornos, la fricción es crítica debido a que al producirse un desplazamiento se origina una disipación de energía en forma de calor, lo que debido a  
35 las limitaciones impuestas por la operación a temperaturas criogénicas, es contraproducente para el propósito de la invención. Así pues, la primera

superficie de fricción y la segunda superficie de fricción están adaptadas para que la fricción entre el portamuestras y la base se reduzca al mínimo, a temperaturas criogénicas.

5 Además, los medios de guiado son adecuados para permitir el uso de lubricantes capaces de disminuir la fricción entre la primera superficie de fricción y la segunda superficie de fricción a temperaturas criogénicas.

10 Preferentemente se proporcionan superficies de fricción pulidas, como un plano, una esfera o un cilindro, y más preferentemente superficie planas, sin aristas.

Un actuador proporciona el impulso para desplazar el portamuestras con respecto a la base.

15 *“donde la base y el portamuestras se encuentran en el interior de una carcasa de muy bajas temperaturas y en contacto térmico con un elemento de termalización, **caracterizado porque** el actuador se encuentra situado fuera de la carcasa de muy bajas temperaturas, estando dicho actuador vinculado al portamuestras mediante unos medios de transmisión de fuerza que están comprendidos en el dispositivo posicionador, de tal modo que el actuador impulsa el portamuestras a través de los medios de transmisión de fuerza, siendo dichos medios de transmisión de fuerza de baja conductividad térmica.”*

25 Este dispositivo posicionador está adaptado para alojarse en un criostato, dentro de un recinto de muy bajas temperaturas que está aislado térmicamente del ambiente. Este recinto de muy bajas temperaturas está delimitado por un escudo o carcasa de muy bajas temperaturas. Aunque se denomina carcasa de muy bajas temperaturas a la barrera física al paso del calor al recinto de muy bajas temperaturas, esta barrera física puede estar  
30 determinada por un conjunto de piezas. Así, se hace posible la termalización del dispositivo mediante un refrigerador con las limitaciones de potencia de enfriamiento inherentes a estos refrigeradores según disminuye  
35 la temperatura.

El actuador se sitúa fuera del recinto de muy bajas temperaturas y de la

carcasa. Preferentemente, el actuador se sitúa fuera del criostato.

5 Así se hace posible que la potencia de enfriamiento se suministre al dispositivo y a la muestra, lo que reduce el tiempo de enfriamiento, mejorando la operación del dispositivo temperaturas criogénicas.

10 Para transmitir el impulso del actuador al portamuestras se utilizan medios de transmisión de fuerza. En modo operativo estos medios de transmisión de fuerza se caracterizan porque son de baja conductividad térmica. Esto significa que la conductividad térmica del medio de transmisión es suficientemente baja como para que la transmisión de calor a través de dicho medio de transmisión permita el enfriamiento del dispositivo de posicionamiento, aislando la parte del dispositivo a temperaturas criogénicas, y permitiendo alcanzar una temperatura de operación preferentemente en 15 el rango de las bajas temperaturas, más preferentemente en el rango de muy bajas temperaturas, y aún más preferentemente a temperaturas menores que 100 mK. La selección de estos parámetros se ajusta a la potencia de enfriamiento que pueda suministrar el refrigerador mediante focos fríos en las etapas a temperaturas criogénicas, típicamente a 4.2 K y a 1.2 K. La 20 cota máxima de la conductividad térmica  $\kappa_{T,max}$  entre un foco a una temperatura  $T_1$  y un foco a una temperatura  $T_2$ , depende de la potencia máxima del foco a  $T_2$  ( $P_2$ ) y la diferencia de temperaturas. Para el tramo que transcurre a muy bajas temperaturas, aunque que depende de la técnica de refrigeración utilizada, una cota máxima es del orden de  $\kappa_{T,max} = 10 \mu\text{W K}^{-1}$ , y 25 más preferentemente un valor menor que  $\kappa_{T,max} = 1 \mu\text{W K}^{-1}$  para un mejor aislamiento.

30 Junto con lo anterior debe presentar unas propiedades mecánicas que permitan la transmisión de este impulso entre el actuador y el portamuestras que resulta en la aplicación de una fuerza  $T$  al portamuestras.

35 Preferentemente, en un ejemplo de realización, junto con este medio de transmisión de fuerza hay un primer medio elástico para operar en oposición, que coopera en el posicionamiento del portamuestras con respecto a la base. Preferentemente el primer medio elástico está unido a la base y al portamuestras, de tal forma que puede sufrir una deformación elástica en la dirección de aplicación de la fuerza  $T$  mediante el medio de transmisión

al desplazarse el portamuestras con respecto a la base. La deformación elástica sufrida por este primer medio elástico proporciona una fuerza restauradora que tiene al menos una componente en la misma dirección de desplazamiento del portamuestras.

5

**DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Estas y otras características y ventajas de la invención, se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción detallada que sigue de una forma preferida de realización, dada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a las figuras que se acompañan.

- Figura 1a      En esta figura se muestra una representación esquemática en planta de un ejemplo de realización de un posicionador.
- 15    Figura 1b      En esta figura se muestra una representación esquemática de una sección del ejemplo de realización del posicionador mostrado en la figura 1a.
- Figura 2a      En esta figura se muestra a escala una vista en sección del portamuestras según un ejemplo de realización de la invención.
- 20    Figura 2b      En esta figura se muestra a escala la sección AA de la vista anterior del portamuestras.
- Figura 2c      En esta figura se muestra una vista en perspectiva del portamuestras cortado por la sección BB junto con la base.
- Figura 3      En esta figura se muestra una representación esquemática de un refrigerador de dilución y un microscopio de sonda local que comprende un ejemplo de realización del posicionador.
- 25    Figura 4      En esta figura se muestra un perfil topográfico de la superficie de una muestra de NbSe<sub>2</sub> a una temperatura de 100 mK. El panel (a) se corresponde a una superficie a campo cero (H=0 T) y el panel (b) una superficie en presencia de un campo magnético (H=8T).
- 30    Figura 5      En esta figura se muestra un espectro del ruido mecánico registrado en un ejemplo de realización de la invención.

**EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

35

La presente invención comprende un dispositivo posicionador (1) del que se describe a continuación un ejemplo de una realización detallada con referencia a las

figuras. En las figuras 1a y 1b se muestra un diagrama esquemático del dispositivo y las figuras 2a, 2b y 2c corresponden a un mismo ejemplo de realización donde se percibe más claramente la estructura del mismo. En la figura 3 se muestra un esquema al dispositivo posicionador (1) que permite controlar la posición relativa entre una base (1.1) y un portamuestras (1.2) integrado en un microscopio efecto túnel (2) dentro de un refrigerador (5).

El dispositivo posicionador (1) según el ejemplo de realización comprende una base (1.1), un portamuestras (1.2), unos medios de transmisión (1.3) de fuerza, un actuador (1.4) y unos primeros medios elásticos (1.5).

La base (1.1) es una pieza sobre la que se incorpora unos medios de guiado que proporcionan una trayectoria al portamuestras (1.2), adaptando preferentemente una parte en la base (1.1) para formar un carril (1.1.2). Preferentemente este carril (1.1.2) es un carril recto que proporciona una dirección de guía sustancialmente recta, lo que simplifica la manipulación remota del dispositivo posicionador (1).

Preferentemente, el portamuestras (1.2) está inscrito en un paralelepípedo de dimensiones 9mm×8mm×2mm. Como se puede apreciar en las figuras 2a, 2b y 2c, presenta una pluralidad de agujeros roscados (1.2.2) para unir mediante tornillos muestras al mismo soporte para fijar una muestra (3) de forma amovible.

La primera superficie (1.1.1) de fricción de la base (1.1) y la segunda superficie (1.2.1) de fricción del portamuestras (1.2) son superficies pulidas, sin asperezas, para proporcionar un desplazamiento minimizando la fricción.

El actuador (1.4) se sitúa fuera del recinto de muy bajas temperaturas (5.12.1), preferentemente fuera del criostato (5.14), a temperatura ambiente, similar a 300 K. Esto permite utilizar diversos actuadores conocidos, y más preferentemente un actuador lineal, para accionar los medios de transmisión (1.3) de fuerza. Los medios de transmisión (1.3) de fuerza permiten que el actuador (1.4) mueva al portamuestras (1.2) con respecto a la base (1.1) cuando el actuador está situado fuera del recinto donde se alcanzan las bajas temperaturas, muy bajas temperaturas y temperaturas menores de 100 mK, siendo los medios de transmisión (1.3) de fuerza materiales de baja conductividad térmica, *i.e.* térmicamente aislantes. Junto con lo anterior, los medios de transmisión (1.3) de fuerza deben presentar unas propiedades mecánicas que permitan la transmisión de este impulso entre el actuador (1.4) y el portamuestras

(1.2) que resulta en la aplicación de una fuerza ( $T$ ) al portamuestras (1.2). Un ejemplo de medios de transmisión (1.3) de fuerza es una varilla tubular térmicamente aislante.

Preferentemente, en este ejemplo de realización, se proporcionan como  
 5 medios de transmisión (1.3) de fuerza al menos un primer cable (1.3.1). En este caso se disponen unos primeros medios elásticos (1.5) en oposición a la fuerza  $T$  que se transmite del actuador (1.4) al portamuestras (1.2), lo que permite operar con el primer cable (1.3.1) que se mantiene siempre en tracción. Los primeros medios elásticos (1.5) se implementan como un primer muelle cuya deformación se produce sustancialmente a lo largo de la dirección longitudinal  $x$  del carril (1.1.2). Cuando se aplica una fuerza de tracción  $T$  sobre el cable, este primer medio elástico (1.5) proporciona una fuerza restauradora opuesta a la fuerza de tracción  $T$ . Preferentemente, la constante elástica de este muelle está dentro del rango de 10 N/m a 100 N/m, preferentemente entre 20 N/m y 10 N/m. Así, se hace posible que el portamuestras (1.2) recupere su posición, y  
 10 por tanto permite desarrollar la operación de posicionamiento del portamuestras (1.2) operando de forma remota, y en particular asegurando el desplazamiento en una dirección  $x$ .  
 15

En este ejemplo de realización, se proporciona un segundo medio elástico  
 20 (1.6). Este segundo medio elástico (1.6) se deforma proporcionando una segunda fuerza restauradora que mantiene en contacto al menos parte de la primera superficie (1.1.1) de fricción con la segunda superficie (1.2.1) de fricción. Preferentemente, este segundo medio elástico (1.6) es un muelle que se fija a la base (1.1), pasa a través de una ranura (no mostrada) y se fija en su otro extremo al portamuestras (1.2) en un agujero de fijación (1.2.3). La constante elástica de este muelle está dentro del rango de 10 N/m a 100 N/m, preferentemente entre 20 N/m y 10 N/m. Preferentemente, la fuerza restauradora del segundo medio elástico (1.6) se aplica al menos en una dirección perpendicular al desplazamiento a través del medio de guiado. En este ejemplo de realización tiene una componente a lo largo de la dirección  $z$ , perpendicular a la dirección  $x$ .  
 25 Esta característica permite resolver el problema de proporcionar un dispositivo de posicionamiento capaz de actuar en una variedad de direcciones, regulando la fricción entre el portamuestras (1.2) y la base (1.1), y que, además, sea adecuado para su uso en microscopios de sonda local. El uso del segundo medio elástico (1.6) habilita el montaje del dispositivo posicionador (1) en otras direcciones distintas a la vertical, la  
 30 que sería natural por gravedad. Asimismo el segundo medio elástico (1.6) regula la fricción con entre la primera superficie (1.1.1) de fricción y la segunda superficie (1.2.1) de fricción y mejora la estabilidad mecánica ya que no sólo restringe el movimiento en  
 35

esta dirección z sino que hace más rígido el conjunto.

Más preferentemente, tanto la primera superficie (1.1.1) de fricción como la segunda superficie (1.2.1) de fricción presentan un recubrimiento en alúmina. En una realización preferente, el carril (1.1.2) presenta caras planas y el recubrimiento se realiza mediante unas placas de alúmina, de un grosor máximo aproximado de 0.5 mm. Este recubrimiento de alúmina se fija a la base (1.1) utilizando una resina epoxídica adecuada para su uso a bajas temperatura entre las caras del carril (1.2.1) y dicha placa de alúmina. Esta solución mediante placas facilita el apoyo del portamuestras (1.2) sobre la base (1.1). Son posibles otras realizaciones para proporcionar como aquellas que presentan un plano frente a una barra (o barras) o una esfera (o esferas) de materiales que presentan una fricción reducida como sucede con el zafiro o rubí.

La utilización de este segundo medio elástico (1.6) ofrece una rigidez del dispositivo posicionador (1) que repercute en unas prestaciones de estabilidad mecánica alta cuando se utiliza en un microscopio de sonda local (2), donde este condicionamiento mecánico es crítico porque la distancia operativa entre sonda y superficie es del orden del Angstrom ( $10^{-10}$  m). Esta estabilidad mecánica es aún más necesaria en medidas que resuelven propiedades que dependen de la distancia, como las medidas topográficas. Especialmente cuando se hace necesario construir un microscopio capaz de conseguir resolución atómica en las propiedades bajo su estudio. A modo de ejemplo la adquisición de la topografía de una superficie con resolución atómica exige una precisión típica de al menos decenas de picómetros ( $<10^{-11}$  m). Esta resolución se debe mantener cuando se desplaza la sonda mediante el scanner (2.2) al estudiar mediante barrido una zona de la muestra (3).

Preferentemente, la primera superficie (1.1.1) de fricción y la segunda superficie (1.2.1) de fricción están a su vez recubiertas de un lubricante adecuado para su uso a temperaturas criogénicas. Típicamente, los lubricantes líquidos usuales a temperatura ambiente se congelan haciéndose inútiles en este rango de temperaturas. Sin embargo, en estos rangos de temperatura es crucial minimizar la disipación debido a la limitada potencia de refrigeración disponible. Ventajosamente el grafito y otros lubricantes sólidos como el disulfuro de molibdeno se utilizan preferentemente para lubricar la primera superficie (1.1.1) de fricción y la segunda superficie (1.2.1) de fricción a bajas temperaturas, muy bajas temperaturas y temperaturas menores que 100 mK. La utilización de estos lubricantes, particularmente grafito sobre placa de alúmina, junto con una adecuada selección de la primera superficie (1.1.1) de fricción y segunda su-

perficie (1.2.1) de fricción, permite minimizar la fricción y el calentamiento de aquellas partes del dispositivo posicionador (1) a enfriar y, lo que es más importante a temperaturas criogénicas, se acelera la termalización de la muestra (3), ya que el calor generado al mover la muestra cerca del portamuestras (1.2) se minimiza. Además, mejora las prestaciones al utilizar superficies planas de apoyo que, aunque aumentan el área de la primera superficie (1.1.1) de fricción y la segunda superficie (1.2.1) de fricción, resultan en un apoyo más estable. Este apoyo mejora especialmente cuando se utiliza en conjunción con un segundo medio elástico (1.6).

10 Preferentemente se fabrican las partes más masivas del dispositivo posicionador (1), como la base (1.1) y el portamuestras (1.2), adaptando las dimensiones de las mismas en función de la densidad del material y el módulo de Young para tener una rigidez mecánica adecuada. La rigidez mecánica se caracteriza típicamente por la frecuencia fundamental de resonancia del dispositivo. Seleccionando una frecuencia  
15 fundamental de resonancia mayor que la banda de vibraciones, y en particular, mayor que de 10 kHz, se consigue un dispositivo suficientemente rígido como para mantener la posición relativa de la sonda con respecto a la muestra sin que ésta varíe, y permite obtener una estabilidad con una resolución del orden del picometro. Esto, en conjunción con que las constantes elásticas de los primeros medios elásticos (1.5) y los segundos medios elásticos (1.6) estén en el rango de 10 N/m y 100 N/m, proporciona mayor estabilidad mecánica al hacer la estructura más rígida.

Preferentemente, el cuerpo del portamuestras (1.2), el cuerpo de la base (1.1) o ambos son de Macor, aluminio o una aleación de aluminio, titanio o una aleación de titanio o cualquier combinación de los mismos. En el caso del uso de aleaciones de titanio, cuando el portamuestras (1.2.1) está fabricado en titanio de grado 5 y su cuerpo está inscrito de forma preferente en un paralelepípedo de dimensiones 9mm×8mm×2mm, presenta una alta frecuencia fundamental de resonancia mucho mayor que 10 kHz.

30 Cuando el dispositivo posicionador (1) según cualquier ejemplo de realización anterior se integra en un microscopio de sonda local (2) que comprende un dispositivo de barrido como un escáner piezoeléctrico (2.2) se proporciona un microscopio de sonda local (2.2) con un sistema de posicionamiento con capacidad de operar a  
35 temperaturas criogénicas.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de realización en el que es posible

apreciar al dispositivo posicionador (1) integrado en un microscopio sonda local (2) que es un microscopio de efecto túnel ó STM. Una muestra (4) se encuentra fijada sobre el portamuestras (1.2) para someterse a estudio mediante esta técnica de microscopía. En este caso se ha representado la sonda local como una punta conductora que se sitúa en un elemento de barrido o scanner piezoeléctrico (2.1). En este ejemplo de realización el elemento de barrido o scanner piezoeléctrico (2.1) es un piezotubo. Un imán (4) superconductor proporciona en la región de observación (2.1) un campo magnético variable, típicamente entre 1 T y 10 T.

En este ejemplo de realización el refrigerador (5) de bajas temperaturas es un refrigerador (5) de dilución de  $^3\text{He}$  en  $^4\text{He}$  continuo. Un ejemplo de realización similar de la invención también puede utilizarse en otro tipo de refrigeradores como otros tipos de refrigeradores de dilución de  $^3\text{He}$  en  $^4\text{He}$ , o un baño de  $^4\text{He}$  o refrigeradores basados en tecnologías termoacústicas de refrigeración (sin líquidos criogénicos) para alcanzar bajas temperaturas, cercanas a 4.2K, o un refrigerador de  $^3\text{He}$ , un refrigerador de demagnetización adiabática, que pueden alcanzar rangos de temperatura por debajo de 1 K.

El refrigerador (5) de dilución comprende diversas partes que se encuentran a temperaturas sucesivamente menores desde la temperatura ambiente del exterior ( $\sim 300$  K) hasta la temperatura base del foco frío del refrigerador (2). Se puede observar las diversas partes del refrigerador (5) en el esquema de la figura 1. Una línea de inyección (5.3) introduce desde un depósito (5.2) a temperatura ambiente un gas que comprende una mezcla los isótopos de  $^3\text{He}$  y  $^4\text{He}$  en un primer recinto delimitado por el criostato con una carcasa (5.14) que aísla térmicamente un baño (5.1) de  $^4\text{He}$  líquido a 4.2 K del ambiente a 300 K.

Esta línea de inyección (5.3) llega hasta un primer recipiente (5.13) sumergido en el baño de  $^4\text{He}$ . Este primer recipiente (5.13), comúnmente conocido como bote de 4.2 K, contiene el recinto a bajas temperaturas (5.13.1). En este recinto de bajas temperaturas (5.13.1) se encuentra un segundo recipiente (5.4) en el que se bombea  $^4\text{He}$  desde el baño (5.1) de  $^4\text{He}$  líquido al exterior mediante una bomba (5.11). En modo operativo la temperatura aproximada de este segundo recipiente (5.4) es 1.2 K, y es comúnmente conocido como bote de 1 K. En modo operativo, la presión dentro del recinto de bajas temperaturas (5.13.1) es muy baja para que los componentes fríos no estén en contacto térmico con los componentes más calientes (e.g. el baño de helio) debido a la presencia de gas.

La línea de inyección (5.3) se encuentra anclada térmicamente al primer recipiente (5.13) y al segundo recipiente (5.4), y llega hasta el interior de un segundo recinto de muy bajas temperaturas (5.12.1). Este segundo recinto de muy bajas temperaturas (5.12.1) está delimitado por un escudo o carcasa (5.12) de muy bajas temperaturas que sirve de escudo frente a las radiaciones. Las partes que se sitúan dentro de este recinto de muy bajas temperaturas (5.12.1) se encuentran en modo operativo a temperaturas menores que 1.2 K. Para alcanzar estas temperaturas se incrementa la presión del gas en la línea de inyección (5.3) por encima de la presión de vapor de  $^3\text{He}$  mediante diversas impedancias (5.5) de la línea de inyección (5.3) y de esta manera se controla el flujo de gas y se garantiza que éste condensa a la temperatura del bote de 1K. Así, el  $^3\text{He}$  atraviesa una serie de intercambiadores de calor (5.6) hasta llegar a la cámara de mezclas (5.7). En dicha cámara de mezclas (5.7) el  $^3\text{He}$  pasa de la fase concentrada a la diluida, produciéndose el proceso de dilución de  $^3\text{He}$  en una mezcla de  $^3\text{He}$  en  $^4\text{He}$  que proporciona la potencia de enfriamiento del refrigerador de dilución. Un flujo de retorno a través de una línea de retorno (5.9) atraviesa los intercambiadores de calor (5.6) hasta llegar a un destilador (5.8) cuya temperatura aproximada es de 0.7 K. El flujo de retorno está en contacto térmico con la línea de inyección (5.3) para enfriar el flujo de entrada. Sobre este destilador (5.8) una bomba externa (5.10) bombea  $^3\text{He}$  de la fase diluida hacia el exterior. Mediante la dilución de  $^3\text{He}$  en  $^4\text{He}$  que tiene lugar en este ciclo, el refrigerador de dilución (5) suministra una potencia de refrigeración continua en el foco frío del refrigerador, que es la cámara de mezclas (5.7).

En este ejemplo de realización el cuerpo del STM (2) y el dispositivo posicionador (1) están en contacto térmico con el foco frío del refrigerador (5). Para ello se pueden utilizar diversas técnicas de termalización tanto del dispositivo como del STM (2) que dependen de los materiales utilizados ya que hacen uso de la conductividad térmica del material del cuerpo del STM (2) y del dispositivo posicionador (1). Generalmente este contacto térmico se hace mediante un elemento de termalización. Este elemento de termalización puede ser una estructura (no mostrada) realizada en buenos conductores del calor a temperaturas criogénicas, y más preferentemente en materiales no magnéticos cuando se desea habilitar la presencia de un campo, como Cu, Ag o Au. Así, en esta realización, una estructura de cobre está en contacto térmico con la cámara de mezclas (5.7) y el microscopio de sonda local (2). A su vez, el microscopio termaliza la base (1.1) y la base, (1.1) el portamuestras (1.2).

Preferentemente, como se muestra en este ejemplo de realización, se utili-

zan como medios de transmisión (1.3) de fuerza un cable que comprende un primer tramo (1.3.1) de cable de acero inoxidable y un segundo tramo (1.3.2) de cable multifilar no metálico. El primer tramo (1.3.1) tiene un diámetro entre 0.1 mm y 0.2 mm y presenta propiedades mecánicas adecuadas para actuar como medio de transmisión  
 5 operando bajo una fuerza de tracción. Una tensión adicional se proporciona mediante un muelle adicional (1.7) que aumenta la tensión ejercida sobre el primer tramo (1.3.1). Para minimizar la transferencia de calor, el primer tramo (1.3.1) se ancla térmicamente mediante una pluralidad de anclajes (1.8) a diversos puntos del refrigerador (5). En la figura 3 se muestra el anclaje a 1.2 K (1.8.2) y los diversos anclajes (1.8.1) dentro del recinto de muy bajas temperaturas (5.12.1) con el destilador (5.8), los intercambiadores de calor (5.6) y la cámara de mezclas (5.7) a diversas temperaturas.  
 10

Preferentemente estos anclajes se realizan mediante un material con una conductividad térmica alta a bajas temperaturas y muy bajas temperaturas. Materiales  
 15 como el cobre, barniz, plata, etc. pueden utilizarse. Preferentemente se utilizan hilos de cobre.

Ventajosamente se utiliza para el segundo tramo (1.3.2) cable multifilar no metálico, de diámetro entre 0.1mm y 0.2 mm. Este cable multifilar, fabricado preferentemente en Kevlar, está unido al primer tramo (1.3.1) de cable de acero. En este ejemplo, el segundo tramo (1.3.2) se introduce por un agujero de guía (1.1.3) cuando llega a la base (1.1), para desplazarse en la dirección longitudinal x del carril (1.1.2). Este tramo de cable (1.3.2) multifilar no metálico actúa como amortiguador, en cooperación con el muelle adicional (1.7), para proporcionar un resonador que amortigua las vibraciones externas.  
 20  
 25

En particular, los materiales ligeros y rígidos, como el titanio y sus aleaciones, presentan excelentes características mecánicas. Así se mejora la estabilidad mecánica del dispositivo posicionador (1). En los entornos a temperaturas criogénicas, esta estabilidad es crítica pero presenta limitaciones importantes a la hora de implementarse técnicamente, pues, los mecanismos de amortiguamiento mecánico son muy limitados, y en última instancia, poco ventajosos al implicar disipación de calor que finalmente producirá un calentamiento. Así es posible fabricar piezas de un dispositivo posicionador (1) en un material y con unas dimensiones adecuadas para su integración  
 30 en un microscopio de sonda local (2) operable a bajas temperaturas, muy bajas temperaturas y temperaturas menores de 100 mK con una frecuencia fundamental de resonancia mayor que 10 kHz. Esto proporciona un microscopio con mayor estabilidad  
 35

mecánica al hacer la estructura más rígida.

Estas propiedades del material y el diseño de las piezas del dispositivo de posicionamiento (1) deben conjugarse con las propiedades térmicas del mismo. Es posible llevar a cabo dichas piezas en materiales como cobre/berilio, aleaciones de magnesio, cerámicas como Macor o alúmina que presentan buenos resultados desde el punto de vista de la termalización del dispositivo posicionador (1).

En un ejemplo de realización se fabrican piezas en aluminio o en aleaciones de aluminio. En otro ejemplo piezas se fabrican preferentemente en titanio ó en aleaciones de titanio, y más preferentemente el titanio de grado 5 o titanio en grado 3. Las aleaciones de titanio, y en especial las aleaciones de titanio grado 5 o titanio grado 3, presentan unas propiedades mecánicas a temperaturas criogénicas que permiten fabricar piezas que presentan una frecuencia de resonancia alta, mucho mayor que 10 kHz.

Sin embargo, las propiedades térmicas del titanio y las aleaciones de titanio o del aluminio y las aleaciones de aluminio varían a temperaturas criogénicas. Es bien conocido que cuando un material se encuentra en el estado superconductor presenta una conductividad térmica significativamente menor que en el estado normal. Esto es debido a que en los materiales en el estado superconductor la contribución electrónica a la conductividad térmica se encuentra inhibida. En el estado superconductor la conducción de calor se produce principalmente por medio de fonones y es menos eficiente que en el estado normal.

La temperatura crítica que determina el paso del estado normal al estado superconductor de las aleaciones de titanio de interés para uso en microscopías de sonda local se sitúa por encima de la temperatura crítica del titanio (0.4 K en ausencia de campo magnético). En particular, para la aleación de titanio de grado 5 la temperatura crítica es de 5 K en ausencia de campo magnético. Un fenómeno similar se presenta cuando se fabrican estas piezas en aluminio o las aleaciones de aluminio que presentan una transición a un estado superconductor por debajo de su correspondiente temperatura crítica.

Se ha encontrado que esta realización presenta resultados de termalización que permiten alcanzar temperaturas de hasta 10 mK, muy por debajo de la temperatura crítica del titanio o de las aleaciones de titanio. Así pues, preferentemente tanto el

cuerpo de la base (1.1) como el cuerpo del portamuestras (1.2) están realizados en titanio grado 5. Más preferentemente, el cuerpo del microscopio de sonda local (2) está realizado en una aleación de titanio grado 5.

5                   Estos resultados muestran la posibilidad de obtener mediante el instrumento una estabilidad mecánica mejorada y una mejor termalización a temperaturas criogénicas gracias a la combinación de las enseñanzas técnicas contempladas anteriormente.

10                   En la figura 4 se muestra un perfil topográfico tomado con un microscopio de efecto túnel equipado con el dispositivo posicionador (1) según el ejemplo de realización anterior. La medida se ha realizado con una punta de Au sobre una muestra de NbSe<sub>2</sub> a una temperatura de 100 mK. El voltaje de polarización entre punta y muestra es de 30 mV y la corriente túnel es 10 nA. En el panel (a) se muestra el perfil de una  
15 zona en ausencia de campo magnético ( $H=0$  T) y en el panel (b) un perfil de una zona en presencia de campo magnético ( $H=8$  T). Es posible observar en esta figura 4 la corrugación asociada a los átomos de la superficie de NbSe<sub>2</sub> con un nivel de resolución que permite obtener una imagen de la superficie (no mostrada) con resolución atómica en presencia de un campo magnético. Las curvas en los paneles (a) y (b) reflejan un  
20 valor distinto de la altura aparente en la corrugación atómica al corresponderse con una región distinta de la superficie de NbSe<sub>2</sub>.

La resolución no sólo permite distinguir una corrugación atómica sino que es suficiente como para apreciar la onda de densidad de carga en forma de una modulación superpuesta a la estructura cristalina de la superficie del material (no mostrada).  
25 Este es un fenómeno que se manifiesta a muy bajas temperaturas en este material en forma de una modulación de la carga con una periodicidad espacial  $\lambda_{CDW}$  que está superpuesta a la corrugación atómica, con una periodicidad espacial  $\lambda_{corr}$  en buen acuerdo con los valores que se encuentran en la literatura ( $\lambda_{CDW} \approx 3\lambda_{corr}$ ). La estabilidad se  
30 mantiene a estas temperaturas, aún en presencia de un campo magnético de 8T, sin degradar las prestaciones y resolución del microscopio de efecto túnel.

En la figura 5 se muestra la transformada de Fourier discreta de la corriente túnel (*FFT*) en unidades arbitrarias sobre una muestra de 1024 puntos durante 1 s,  
35 realizada sobre una muestra de NbSe<sub>2</sub> a 100 mK en presencia de un campo magnético  $H= 5$  T. La corriente túnel presenta un decaimiento exponencial con la distancia con una longitud de decaimiento del orden de 0.5 nm en los metales. Esta señal se utiliza

para realimentar un circuito de control de la distancia entre punta y muestra, que está desconectado al realizar esta medida. En este caso, el valor promediado en el tiempo de la corriente túnel 1.2 nA y el voltaje de polarización entre punta y muestra 50 mV. El panel (a) se corresponde a un microscopio con dispositivo posicionador según el estado de la técnica y el panel (b) se corresponde al mismo microscopio con el espectro tomado con el dispositivo posicionador (1). Es posible apreciar que a baja frecuencia es altamente estable y no se ve afectada por el dispositivo posicionador (1). Es decir, el dispositivo posicionador (1) es al menos tan estable como el microscopio porque no degrada la estabilidad a baja frecuencia de forma apreciable. La temperatura operativa del microscopio en este experimento es 50 mK. El microscopio con un dispositivo posicionador en el estado de la técnica se calienta típicamente desde la temperatura operativa hasta temperaturas por encima de 4 K al accionar el posicionador en el estado de la técnica. Sin embargo, no se observan cambios de la temperatura del microscopio mayores del 1% sobre la temperatura operativa en el microscopio al accionar el dispositivo posicionador (1) según el ejemplo de realización anterior.

**REIVINDICACIONES**

1.- Dispositivo posicionador (1) para microscopios de sonda local (2), operable a temperaturas criogénicas, para posicionar una muestra (3) en una región de observación (2.2) que comprende:

- una base (1.1) adaptada para unirse de forma solidaria al microscopio de sonda local (2);
- un portamuestras (1.2);
- unos medios de guiado entre la base (1.1) y el portamuestras (1.2) que comprenden una primera superficie (1.1.1) de fricción dispuesta en la base (1.1) y una segunda superficie (1.2.1) de fricción dispuesta en el portamuestras (1.2), de tal modo que dicha segunda superficie (1.2.1) de fricción está adaptada para desplazarse por deslizamiento sobre la primera superficie (1.1.1) de fricción de la base (1.1); y
- un actuador (1.4) para la impulsión del portamuestras (1.2) respecto de la base (1.1);

donde la base (1.1) y el portamuestras (1.2) se encuentran en el interior de una carcasa (5.12) de muy bajas temperaturas y en contacto térmico con un elemento de termalización, **caracterizado porque** el actuador (1.4) se encuentra situado fuera de la carcasa (5.12) de muy bajas temperaturas, estando dicho actuador (1.4) vinculado al portamuestras (1.2) mediante unos medios de transmisión (1.3) de fuerza que están comprendidos en el dispositivo posicionador (1), de tal modo que el actuador (1.4) impulsa el portamuestras (1.2) a través de los medios de transmisión (1.3) de fuerza, siendo dichos medios de transmisión (1.3) de fuerza de baja conductividad térmica.

25

2.- Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado porque los medios (1.3) de transmisión de fuerza son de tracción, y por disponer, adicionalmente, de unos primeros medios elásticos (1.5) de tal modo que los medios de transmisión (1.3) de fuerza y dichos primeros medios elásticos (1.5) están adaptados para operar en oposición.

30

3.- Dispositivo según las reivindicaciones 1 o 2 caracterizado porque comprende unos segundos medios elásticos (1.6) adaptados para mantener el contacto bajo presión entre la primera superficie (1.1.1) de fricción y la segunda superficie (1.2.1) de fricción.

35

4.- Dispositivo según las reivindicaciones 1 a 3 caracterizado porque la pri-

mera superficie (1.1.1) de fricción, la segunda superficie (1.2.1) de fricción o una combinación de las mismas están recubiertas por un lubricante sólido.

5 5.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado porque la frecuencia fundamental de resonancia del dispositivo posicionador (1) es mayor que 10 kHz para mejorar la estabilidad mecánica y aumentar la precisión en la posición de la muestra (3).

10 6.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 caracterizado porque el cuerpo de la base (1.1) o el cuerpo del portamuestras (1.2) está hecho de titanio o aluminio.

15 7.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 caracterizado porque el actuador (1.4) es un actuador lineal.

8.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 caracterizado porque la primera superficie de fricción (1.1.1) o la segunda superficie (1.2.1) de fricción están recubiertas de alúmina.

20 9.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 caracterizado porque los medios de guiado están configurados para formar un carril (1.1.2) que permite el desplazamiento lineal.

25 10.- Dispositivo según la reivindicación 9 caracterizado porque la primera superficie (1.1.1) de fricción y la segunda superficie de fricción (1.1.2) son planas.

11.- Microscopio de sonda local (2) con capacidad de operar a temperaturas criogénicas, que comprende un dispositivo posicionador (1) de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 10.

FIG. 1A

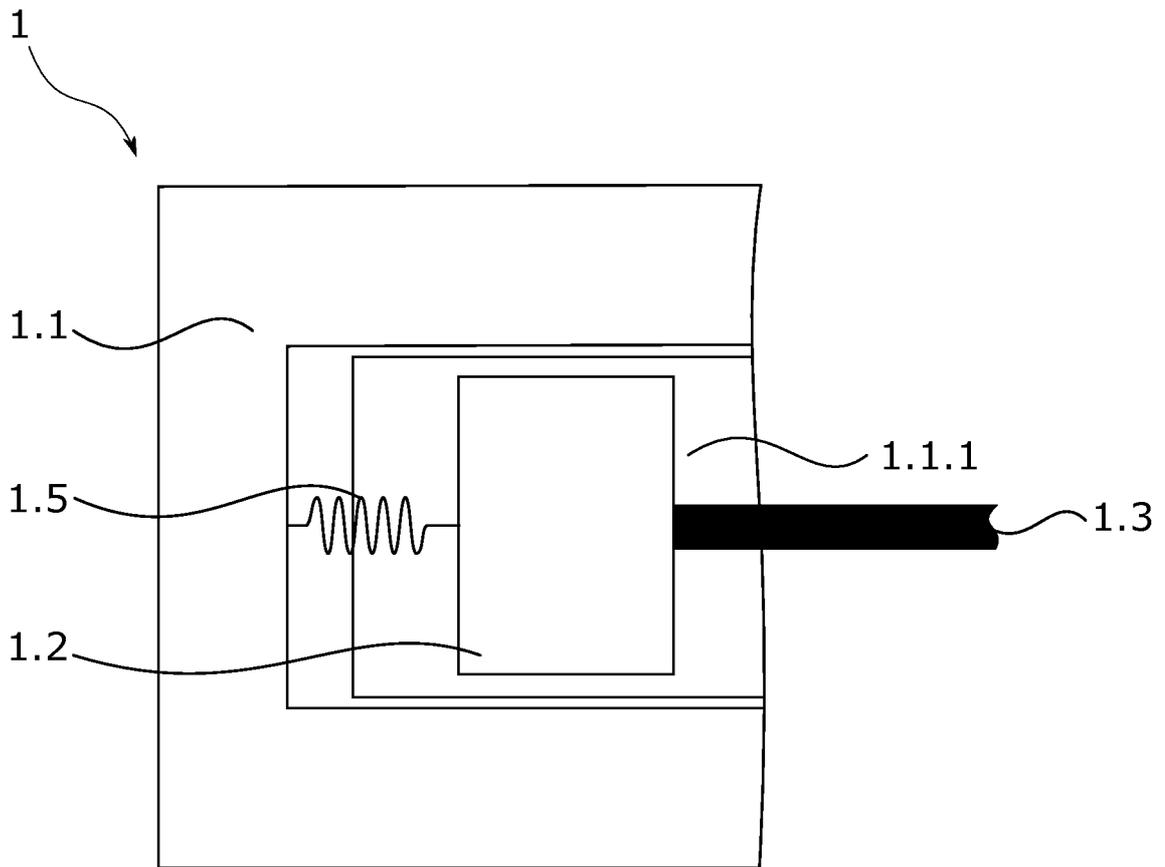
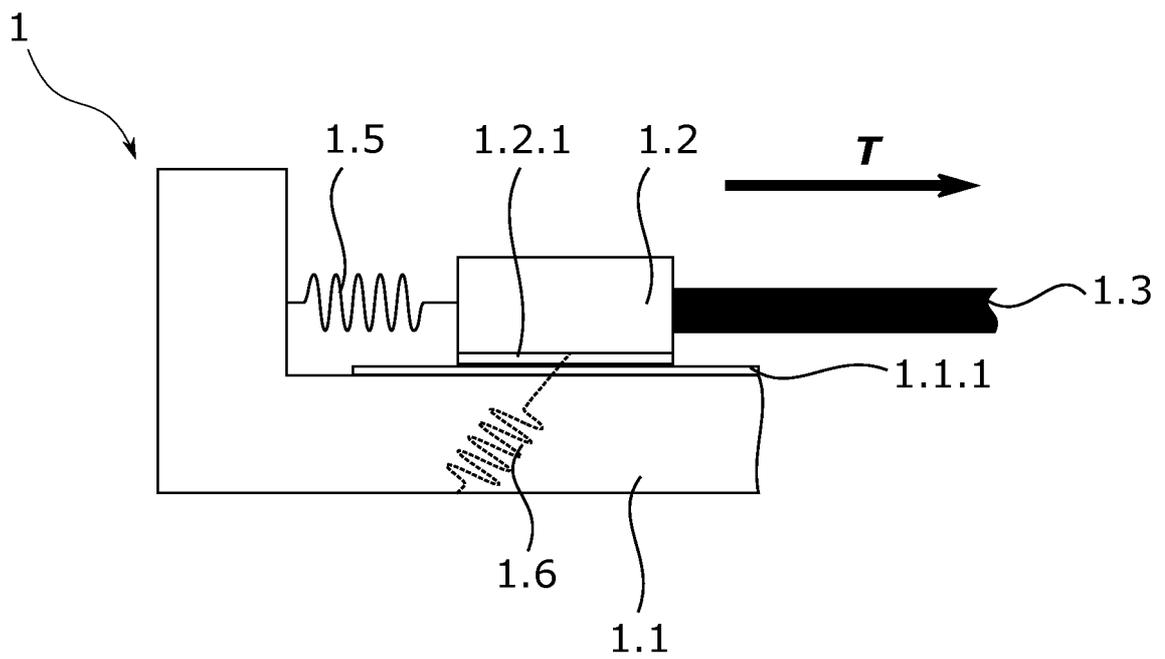
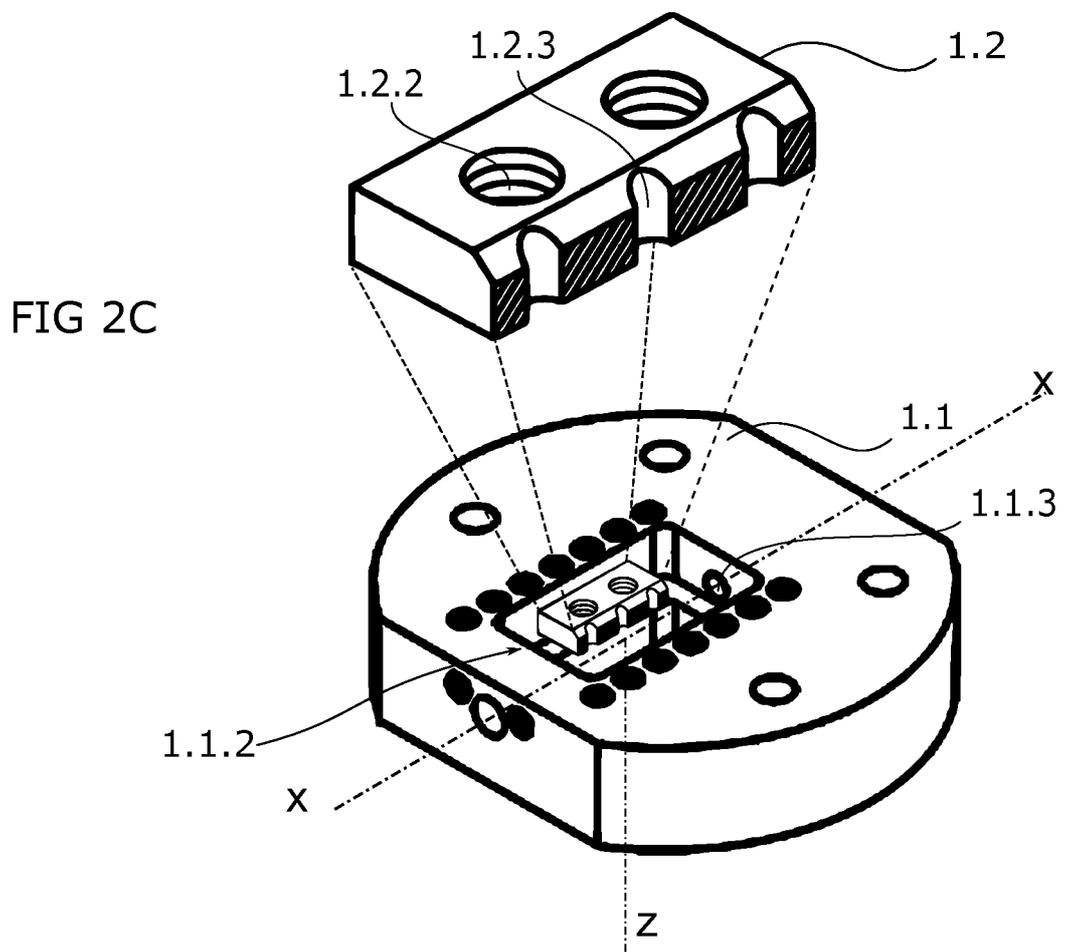
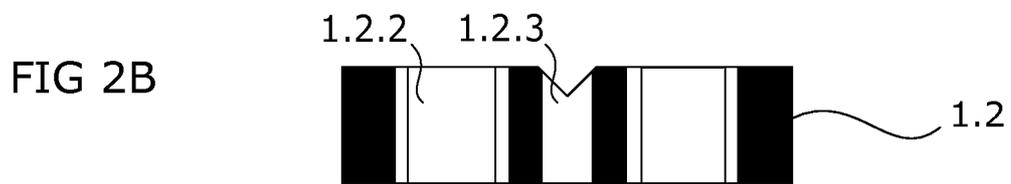
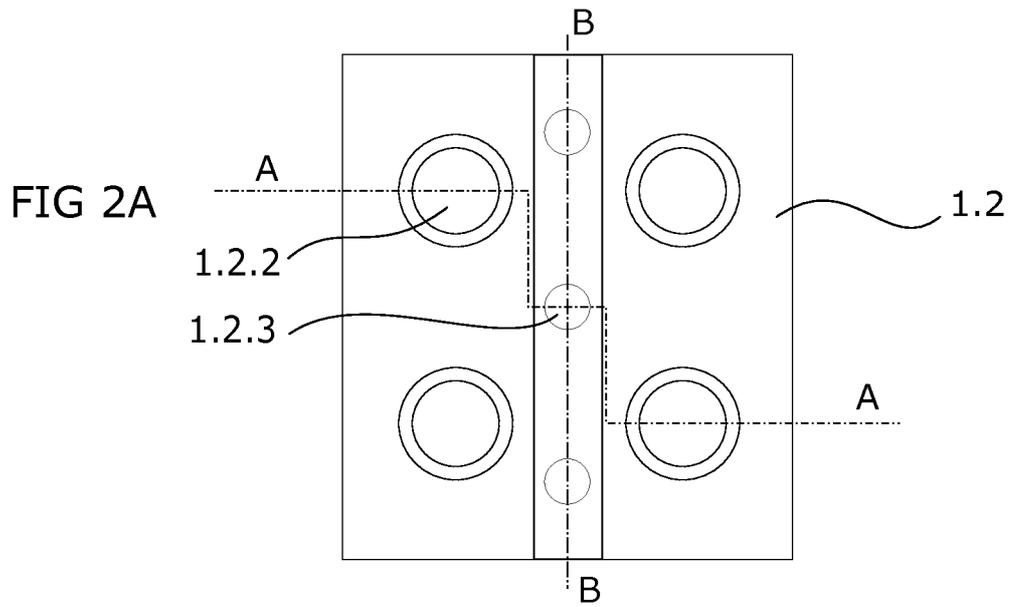


FIG. 1B





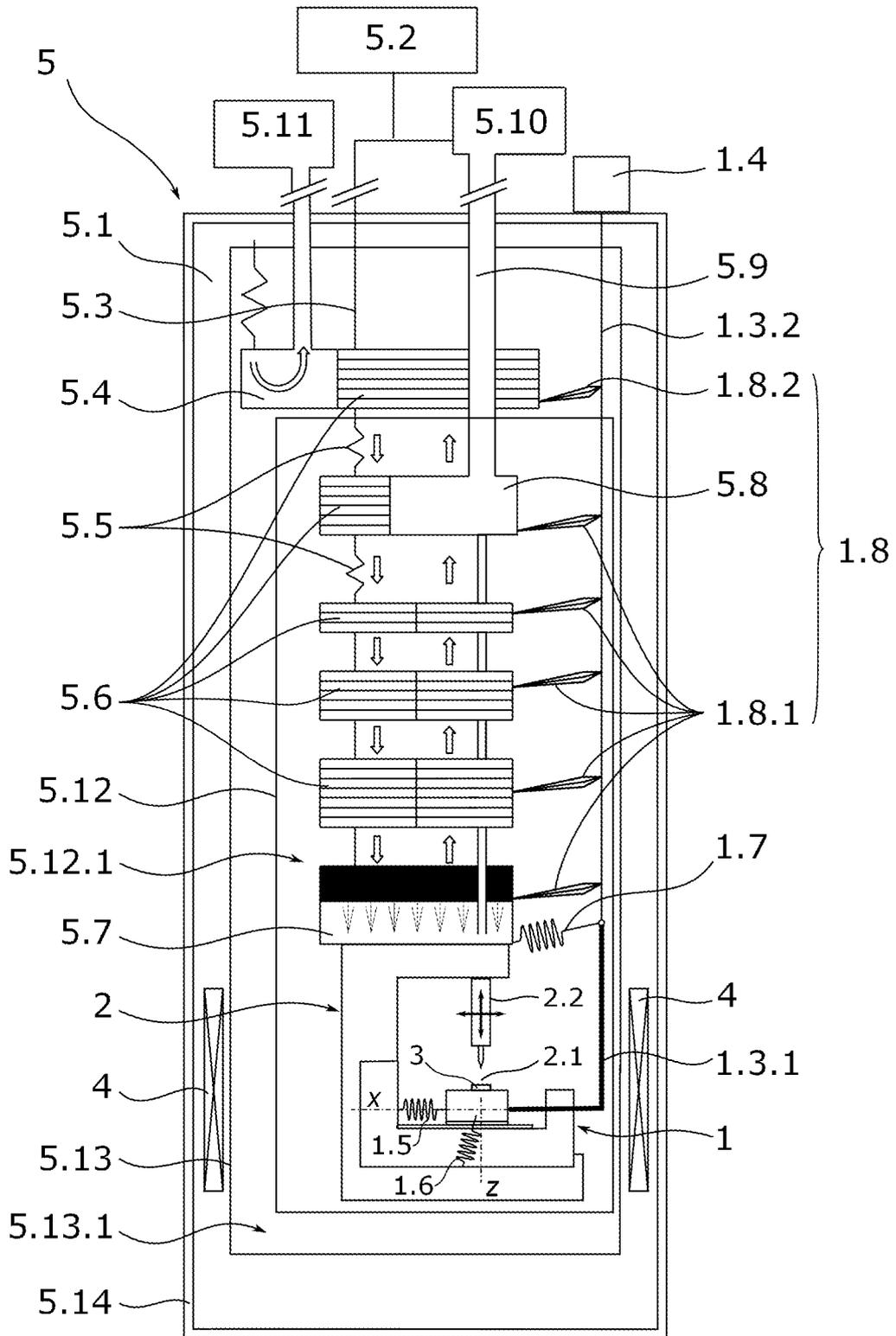


FIG. 3

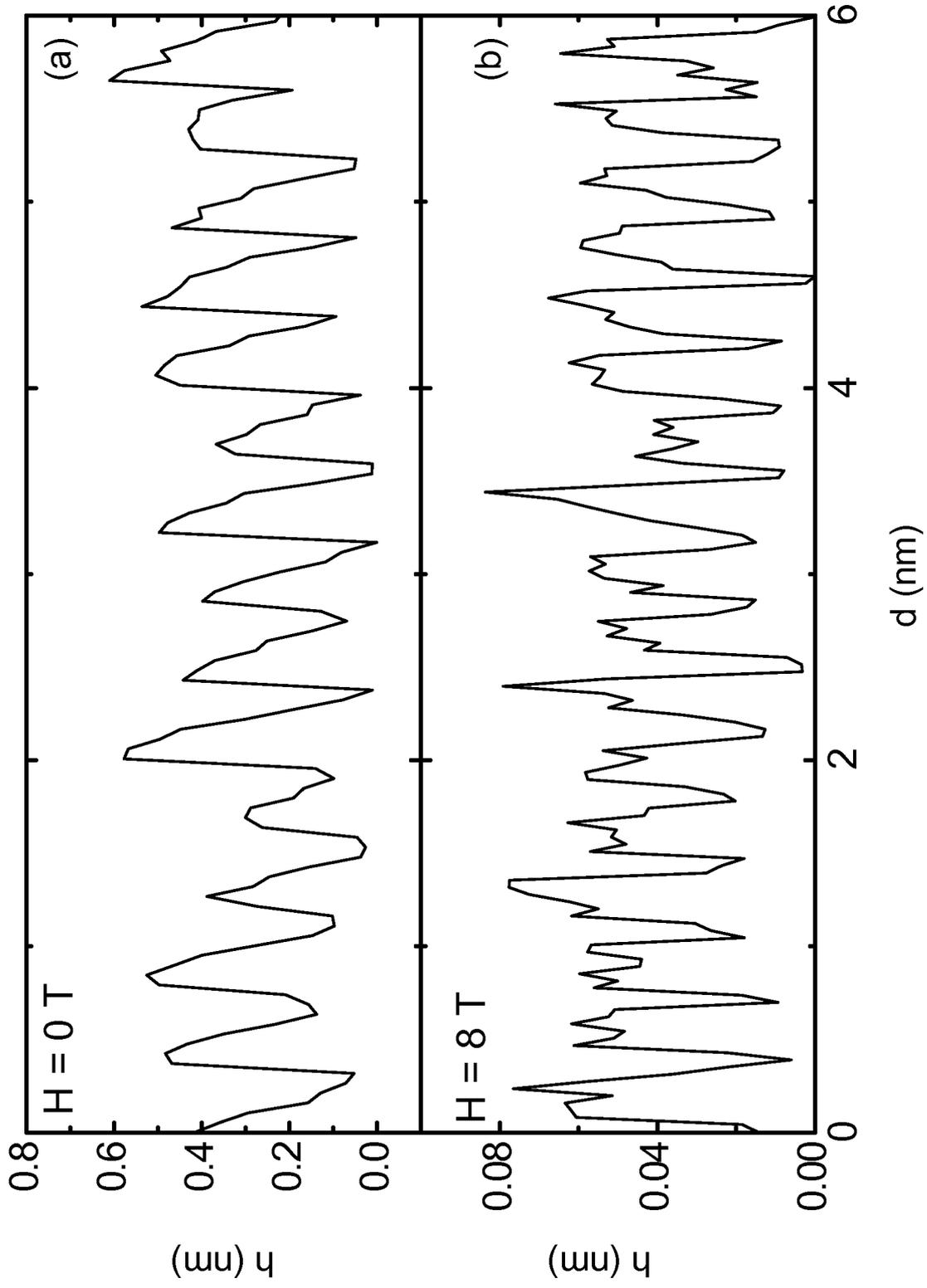


FIG. 4

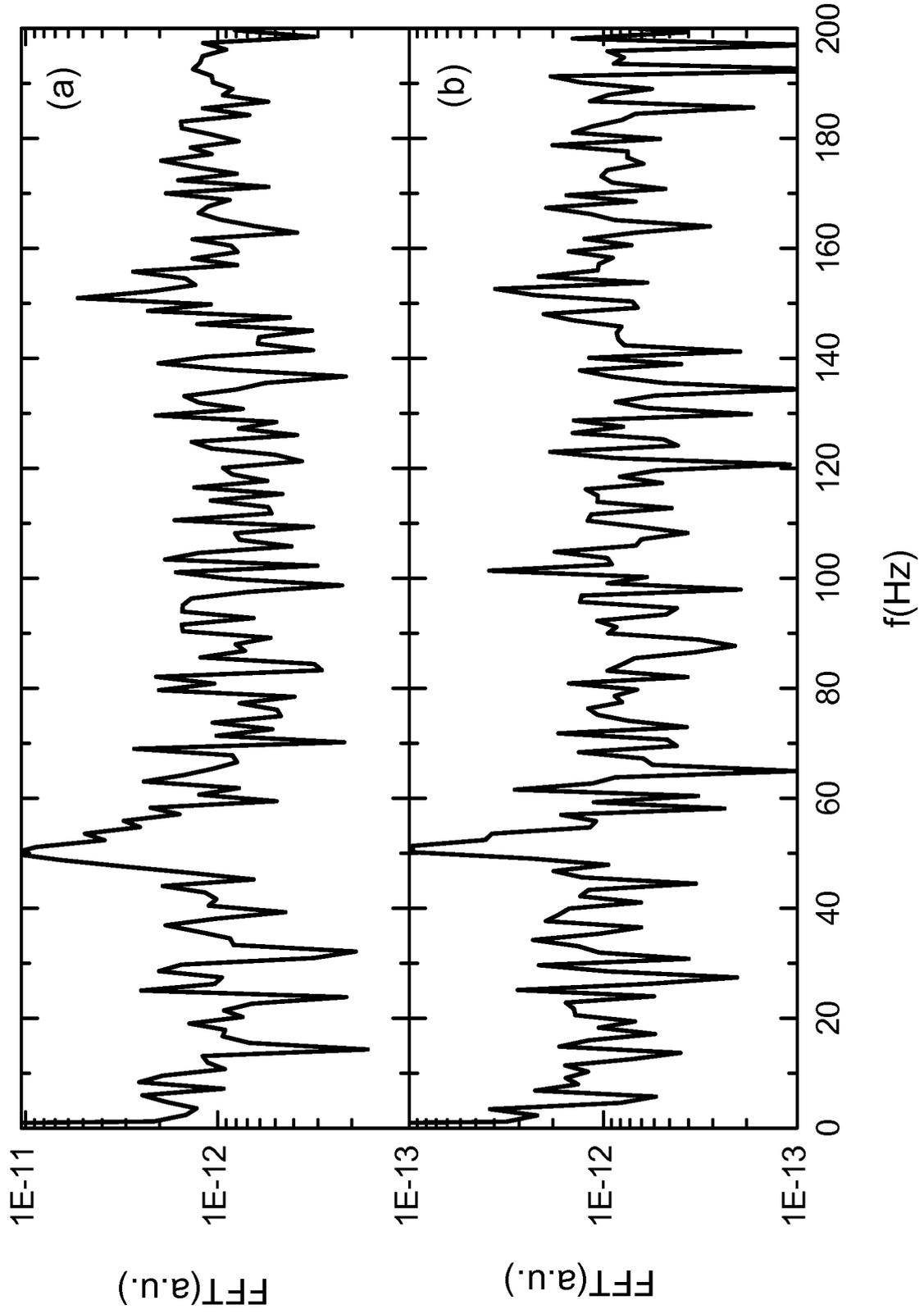


FIG. 5



- ②① N.º solicitud: 201031456  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 30.09.2010  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01Q10/00** (2010.01)  
**G01Q30/10** (2010.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	JP 2004226292 A (JAPAN SCIENCE TECH AGENCY) 12.08.2004, Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE. Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE. [recuperados el 04.02.2013] figuras 1,5; reivindicaciones 1-3; párrafos [12-20].	1-11
A	EP 0908719 A1 (HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY) 14.04.1999, figuras 1-4; párrafos [18-25]; reivindicaciones 1,4,9.	1-3,7,9-11
A	US 7414250 B1 (UNIV NORTHWESTERN) 19.08.2008, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE [recuperado el 04.02.2013], figuras.	1-4,6-11
A	US 5376790 A (PARK SCIENT INSTR) 27.12.1994, descripción; figuras 1-6.	1-11

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
05.02.2013

Examinador  
E. P. Pina Martínez

Página  
1/4

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

G01Q

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

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 05.02.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-11	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-11	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	JP 2004226292 A (JAPAN SCIENCE TECH AGENCY)	12.08.2004
D02	EP 0908719 A1 (HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY)	14.04.1999
D03	US 7414250 B1 (UNIV NORTHWESTERN)	19.08.2008
D04	US 5376790 A (PARK SCIENT INSTR)	27.12.1994

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera D01 el documento del estado de la técnica anterior más próximo al objeto de la solicitud. Este documento afecta a la actividad inventiva de todas las reivindicaciones, tal y como se explicará a continuación.

Reivindicación 1.

En el documento D01 se describe el siguiente dispositivo, con referencias al propio documento D01:

Dispositivo posicionador para microscopio de sonda local, operable a temperaturas criogénicas para situar una muestra (5) en una región de observación, que comprende una base (6) unida al microscopio, un portamuestras (5), unos medios de guiado entre la base y el portamuestras (ver la realización de la figura 5) y un actuador (8-12) para mover el portamuestras que se encuentra situado fuera de la zona de bajas temperaturas (en la zona de temperatura ambiente) y vinculado al portamuestras mediante unos medios de transmisión (3).

Este dispositivo difiere del dispositivo reivindicado en detalles estructurales que pueden considerarse opciones constructivas o de selección al alcance de un experto en la materia. Así, los medios de guiado entre la base y el portamuestras consistentes en dos superficies deslizantes, si bien no están explícitamente descritos en el documento D01, se considera que forman parte del estado de la técnica conocido (ver como ejemplo los documentos D02-D04) En cuanto al empleo de un material de baja conductividad térmica, su implementación no presupone el ejercicio de una actividad inventiva, por considerarse evidente para un experto en la materia.

Por tanto, la reivindicación 1 no satisface, a la vista del estado de la técnica anterior, el requisito de actividad inventiva, según lo dispuesto en el Art. 8.1 de la ley de patentes 11/86.

Reivindicaciones 2-11.

El resto de reivindicaciones, dependientes de la primera, no comprenden características adicionales o alternativas que, en combinación de las características de la reivindicación independiente, les confieran el requisito de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

Así, las reivindicaciones dependientes comprenden opciones estructurales o de selección de material suficientemente conocidas en el estado de la técnica, tales como por ejemplo los medios elásticos y los carriles de desplazamiento (ver documento D02) o el empleo de alúmina y cuya implementación en el dispositivo descrito en D01 resultaría inmediata y evidente para un experto en la materia.

En conclusión, a la vista del estado de la técnica anterior, la solicitud no satisface los requisitos de patentabilidad establecidos en el Art. 4.1 de la ley de Patentes 11/86.