

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 057**

21 Número de solicitud: 202230548

51 Int. Cl.:

G01Q 60/10 (2010.01)

B82Y 15/00 (2011.01)

G01N 33/483 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

21.06.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

31.01.2024

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2022/070758

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT D'ALACANT / UNIVERSIDAD DE
ALICANTE (100.0%)**

**CARRETERA SAN VICENTE DEL RASPEIG, S/N
03690 SAN VICENTE DEL RASPEIG (Alicante) ES**

72 Inventor/es:

**SABATER PIQUERES, Carlos y
FERRER ALCARAZ, Patricia**

54 Título: **MICROSCOPIO PARA REALIZAR ESTUDIOS DE TWISTRÓNICA Y ESPINTRÓNICA**

57 Resumen:

Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, que puede ser usado en estudios de topografía electrónica, de transporte electrónico a ángulo fijo o de transporte electrónico a ángulo variable, que tiene la particularidad de estar constituido por un cuerpo central que da soporte a un carro y queda unido a un soporte frontal; un carro, en cuyo extremo se encuentra anclado un primer electrodo en un portamuestras fijo, y que realiza un movimiento unidireccional hacia delante y hacia atrás; y un soporte frontal que comprende al menos un segundo electrodo en un segundo portamuestras, de modo que el segundo electrodo queda enfrente al primer electrodo, y donde el soporte frontal puede comprender unos medios de control de giro o movimiento del segundo electrodo; y donde ambos portamuestras están conectados a un circuito que permite medir la corriente y el transporte electrónico y de espín que atraviesa por el microscopio.

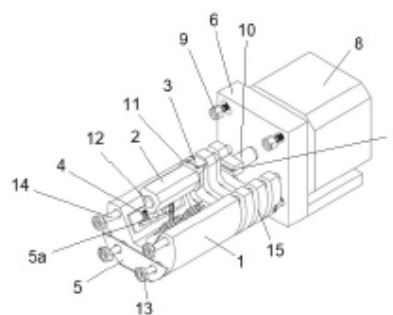


FIG.2

DESCRIPCIÓN

MICROSCOPIO PARA REALIZAR ESTUDIOS DE TWISTRÓNICA Y ESPINTRÓNICA

5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención consiste en un microscopio cuya estructura y ensamblaje permite realizar estudios de twistrónica y espintrónica, y que concretamente permite el desarrollo de estudios de topografía electrónica, de estudios de transporte electrónico a ángulo fijo, y de
10 estudios de transporte electrónico y de espín a ángulo variable.

Esta invención se encuadra dentro de los diferentes tipos de equipos, sistemas y métodos destinados a realizar estudios y experimentos de nanoelectrónica.

15 ESTADO DE LA TÉCNICA

Como es sabido dentro de este sector industrial, la espintrónica y la twistrónica son dos campos de investigación dentro de la nanoelectrónica. Se suele hablar de espintrónica como la ciencia que estudia tanto la carga del electrón como su espín; mientras que la twistrónica
20 se define como la ciencia que estudia la electrónica en función del ángulo relativo entre dos láminas bidimensionales. El problema técnico al que nos enfrentamos es que hasta el momento no es conocido que estos campos hayan podido ser estudiados de manera conjunta.

En este sentido, se conocen dispositivos electrónicos utilizados en el campo de la
25 espintrónica, dispositivos con un alto potencial en el procesamiento y almacenamiento de información cuántica. Estos dispositivos, conocidos en este sector industrial como “*spin-switch*” (término técnico que es utilizado a lo largo de la presente memoria descriptiva), son aparatos capaces de bloquear o permitir el transporte de electrones polarizados en espín. Hasta la fecha se han estudiado múltiples formas de *spin-switch* controlable bajo estímulos
30 externos, como luz, campo magnético o campo eléctrico [[Ke, G., et al. (2020). *Electrical and spin switches in single-molecule junctions. InfoMat*, 2(1), 92-112.]]. Sin embargo, no se conoce ningún *spin-switch* que ajuste su conductancia eléctrica gracias a un giro mecánico.

Por otro lado, la twistrónica es un novedoso campo de estudio nacido recientemente, y aunque
35 el término de twistrónica no esté asociado a una configuración específica entre los materiales

bidimensionales, todos los estudios reportados hasta la fecha siguen una línea de investigación en la que se estudian sistemas basados en láminas superpuestas [[Jarillo, *et al.* (2020). *Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices*. *Nature*, 556(7699), 43-50]]. Sin embargo, dicha configuración no permite realizar un *spin-switch*.

- 5 El uso de dispositivos para la tecnología STM (*Scanning Tunnelling Microscopy*) es conocida, y son instrumentos cuyo propósito de invención es obtener imágenes de topografía de la superficie de una muestra conductora, midiendo la corriente que fluye entre sus electrodos, cuando éstos se encuentran a una determinada distancia entre sí. Con este propósito uno de sus electrodos debe ser una punta atómicamente afilada, mientras que el otro debe ser una
10 superficie enfrentada perpendicularmente a ésta.

En este sentido, se conoce lo divulgado en el documento WO2017211991 donde se comenta la idea de enfrentar dos materiales bidimensionales por sus bordes y se describe teóricamente cómo medir el transporte electrónico en una nanoconstricción de grafeno mediante el uso de un STM-BJ (*Scanning Tunnelling Microscope in break junction approach*) también conocido
15 con microscopio efecto túnel en configuración BJ. Sin embargo, en estos casos los electrodos son fijos, es decir, no tienen la capacidad de variar el ángulo.

Para poder medir transporte electrónico en nanocontactos atómicos o moleculares, es conocida la utilización del STM-BJ cuyo funcionamiento está basado en formar y romper contactos atómicos o moleculares a partir de la colisión y separación de los electrodos de los
20 que se compone el STM. En este caso, los electrodos son generalmente materiales conductores con la misma forma, dispuestos de tal manera que se produzca un punto de colapso lo más localizado posible. Esto permite generar una nanoconstricción atómica al separarse, a través de la cual medir el transporte electrónico del metal utilizado. Generalmente, los estudios de transporte electrónico a partir de esta técnica se realizan a
25 partir de análisis estadísticos tras realizar miles de estos ciclos de unión y rotura. Aunque la técnica STM-BJ es conocida, sin embargo, los instrumentos de medida para generar contactos atómicos no están estandarizados y suelen ser manufacturados de manera casera en los laboratorios [[Lee, W., & Reddy, P. (2011). *Creation of stable molecular junctions with a custom-designed scanning tunneling microscope*. *Nanotechnology*, 22(48), 485703]].

- 30 El microscopio objeto de la presente invención, frente a estos antecedentes conocidos, es un instrumento que nos permite estudiar de manera conjunta los campos de la espintrónica y

twistrónica, además de ofrecer la posibilidad de crear un dispositivo tipo spin-switch a partir de un giro mecánico entre dos láminas bidimensionales enfrentadas por sus bordes.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

5

En la presente invención se define un microscopio cuya estructura y ensamblaje permite realizar estudios de transporte electrónico y de espín a ángulo variable, en adelante denominados como técnica Tw-STM-BJ (*Twisted Scanning Tunneling Microscopy* en configuración *Break-Junction*). Además, permite realizar estudios de transporte electrónico a

10 ángulo no variable, técnica comúnmente conocida como STM-BJ (*Scanning Tunnelling Microscopy* en configuración *Break-Junction*). Por otro lado, también permite el desarrollo de estudios de topografía de superficie a nivel atómico, mediante la técnica de microscopía de barrido de efecto túnel, comúnmente conocida como STM (*Scanning Tunnelling Microscopy*).

15 El objetivo de esta invención se basa en generar un microscopio controlado por un giro mecánico de los electrodos que la componen, es decir, se propone un dispositivo que está formado por dos electrodos bidimensionales, como por ejemplo el grafeno, enfrentados por los bordes. Es sabido que la conducción electrónica se debe a los orbitales de conducción s, p, d o f; donde ha de entenderse que un orbital es la región del espacio dentro de un átomo

20 en la cual se tiene cierta probabilidad de encontrar un electrón, y donde esta región puede tener diferentes formas, habiéndose asociado una letra s,p,d o f, según su forma, siendo los s una región esférica y el resto de ellos con geometría lobular. En el caso del grafeno, la conducción electrónica se da a través de los orbitales p_z lo que resulta en que el transporte electrónico sea mínimo o nulo cuando los bordes forman 90° , sea máximo cuando

25 forman 0° y tenga un valor intermedio cuando los bordes de los electrodos tengan un ángulo relativo comprendido entre 0° y 90° (véase Figura 1). Dependiendo de los orbitales a través de los cuales se produce la conducción electrónica del sistema, el cambio de conductancia en función del ángulo se da de manera diferente, teniendo una estructura de bandas completamente distinta. Siempre que la conductancia no se deba exclusivamente a un orbital

30 tipo s (de simetría esférica), existirá variación de la conductancia al cambiar el ángulo. Es decir, con esta disposición relativa entre los electrodos se podría ajustar la conducción electrónica del sistema.

Introducir el transporte de espín en esta invención radica en inducir la conducción de espín único en los electrodos. Para poder convertir el electrodo en un conductor de espín único, se debe inyectar electrones con espín polarizado. Con este fin, se nanolitografía barras de materiales ferromagnéticos sobre la superficie del material bidimensional, que actúan de inyectores de espín al ser sometidas a una corriente. Para poder detectarlo se debe nanolitografiar unas barras metálicas que pueden ser de platino, cobre, oro o plata, a partir de las cuales se puede medir la diferencia de potencial generado y así medir el transporte de espín. Bajo estas condiciones y montando los electrodos sobre un sistema que permita la rotación de uno de ellos, se puede controlar el transporte de espín mediante el giro. De nuevo, los orbitales de conducción implicados harán que varíe de forma distinta. En el caso del grafeno, se puede permitir que el transporte de espín sea completo a ángulo relativo 0 y, por el contrario, se puede anular cuando el ángulo es de 90 grados (ver figura 1). Cualquier otro ángulo permitirá el ajuste del transporte, de igual manera que para la conducción electrónica.

Como se ha indicado en el apartado anterior, no es conocido y/o sugerido que ningún dispositivo que permita desarrollar y estudiar estas dos tecnologías conjuntamente. Por este motivo, la presente invención presenta un microscopio con una estructura y ensamblaje que permite realizar estudios de twistrónica y espintrónica.

Por otro lado, los dispositivos conocidos suelen estar fabricados con materiales con bajo coeficiente de dilatación térmica, ya que suelen estar sometidos a bajas temperaturas (como por ejemplo titanio). No obstante, muchos experimentos de electrónica molecular se realizan a condiciones ambiente, con lo cual carece de sentido utilizar materiales como titanio, entre otras cosas por su precio y difícil mecanización. En la presente invención se propone una estructura de microscopio que puede ser imprimible 3D para la manufactura del mismo, lo que es una ventaja frente a los microscopios no estandarizados que se han comentado en el apartado anterior del estado de la técnica. El uso de este método de fabricación permite el desarrollo del microscopio de manera fácil y rápida, además de resolver los problemas de mecanizado, estandarización y reproducibilidad de este tipo de instrumentos. En particular, aunque no pretende ser objeto de protección y no se pretende que sea limitante, se ha usado Ácido Poliláctico (PLA) como material termoplástico de manufactura, lo que hace que el microscopio sea económico y sostenible. En cualquier caso, podrían utilizarse otros materiales como el ABS, Nylon, metales o cualquier tipo de material termoplástico imprimible 3D.

Entrando ya en un mayor grado de detalle del microscopio, el invento está constituido por una estructura ensamblada, lo que permite modificar la configuración de trabajo cambiando algunas piezas de forma mecánica, rápida y sencilla. La estructura básica del microscopio comprende:

5 una pieza o cuerpo central, que permite el ensamblaje mecánico del resto de piezas mediante varillas roscadas, y que da soporte y sujeción a un carro,

un carro, en cuyo extremo se encuentra anclado un primer electrodo del microscopio; donde el carro se encuentra situado sobre unas piezopilas, las cuales están colocadas sobre el cuerpo y permiten que el carro realice un movimiento unidireccional hacia delante y hacia
10 atrás; y donde en la parte inferior del carro posee un muelle anclado, que lo mantiene atraído hacia las piezopilas,

un soporte frontal, que queda enfrenteado al electrodo del carro, en donde se dispone al menos un segundo electrodo del microscopio, de modo que el segundo electrodo queda enfrenteado al electrodo del carro, y donde el soporte frontal comprende unos medios de control
15 de giro o movimiento del segundo electrodo,

dos portamuestras, que permiten anclar y conectar ambos electrodos al microscopio y un circuito, donde estos dos electrodos son materiales conductores, semiconductores o aislantes topológicos, y se encuentran conectados al circuito del microscopio; y donde, de esta forma, cuando ambos electrodos se encuentran a una distancia túnel (distancia que
20 permite el paso de corriente a través de ellos por efecto túnel) o en contacto atómico, el circuito del microscopio queda cerrado y se puede medir la corriente que atraviesa el dispositivo por medio de un dispositivo electrónico externo programable (como un PC), estando por tanto el circuito en conexión con el dispositivo electrónico; y donde el circuito comprende un voltaje bias o voltaje de polarización generado por una fuente de alimentación de bajo ruido
25 electrónico; y un amplificador de corriente-voltaje conocidos como amplificadores I-V, que están formados por un amplificador operacional, preferentemente modulable en el rango de amplificación de 10^3 hasta 10^{12} .

Fijando más piezas en el carro o en el soporte frontal se consigue modificar la configuración para con el mismo microscopio se pueda desarrollar las tres técnicas distintas previamente
30 indicadas, es decir, la técnica STM estándar, la cual se pueden obtener realizar imágenes de topografía en superficies eléctricamente conductoras; la técnica STM-BJ, con la que se puede medir el transporte electrónico; y la técnica Tw-STM-BJ, la cual permite estudiar el transporte

electrónico y espintrónico de un sistema cuyos electrodos tienen la capacidad de rotar, y con la que se puede realizar un *spin-switch* controlado por un giro.

A partir de aquí, para realizar estudios de twistrónica mediante microscopía de efecto túnel con control del ángulo relativo entre electrodos (Tw-STM-BJ), se integra un motor en el soporte frontal de la estructura, motor que permite el movimiento rotatorio del segundo electrodo. En este caso se pueden utilizar tanto electrodos tridimensionales como materiales 2D, posicionados de tal manera que quedan enfrentados por su borde. Debido a la incorporación del motor en la estructura, se pueden realizar estudios de transporte electrónico y de espín para ángulo fijo o con variabilidad de ángulo. En esta configuración, es preferible poder utilizar un tipo de carro de alta estabilidad, ya que con esta técnica de unión rotura y giro se realizan percusiones atómicas. El carro posee una oquedad en la que se introduce una pieza cilíndrica de metal con una perforación roscada, que permite el anclaje de los portamuestras y/o electrodo. De esta forma, el carro en su movimiento lineal puede alejar o acercar el primer electrodo respecto de soporte frontal, y el soporte frontal puede gestionar el giro del segundo electrodo respecto del carro, permitiéndose de esta forma el desarrollo de la técnica Tw-STM-BJ, es decir, que el presente microscopio es el único capaz de medir el transporte electrónico y de espín en contactos atómicos bajo la rotación lateral de uno de sus electrodos.

En este punto y para entrar en un mayor detalle de esta tecnología, se entiende que es preciso explicar que de acuerdo con la ecuación de Landauer *[[Landauer, R. (1957). *Spatial variation of currents and fields due to localized scatterers in metallic conduction*. IBM Journal of research and development, 1(3), 223-231.]]*, la conductancia total depende del número de canales de conducción involucrados en la unión, lo que está relacionado con el número de átomos que forman el enlace. Así, a mayor número de átomos, mayor será la conductancia de la unión. Históricamente se ha estudiado la conductancia en función del desplazamiento relativo de los electrodos que están en constante movimiento de indentación y retracción. Estas curvas de conductancia versus desplazamiento son denominadas trazas de conductancia y pueden ser tanto de ruptura como de formación. A medida que cambia la geometría del contacto, también lo hace la conductancia, aumentando o disminuyendo de forma escalonada. Cada salto de valor de conductancia se debe a un cambio abrupto en el número de átomos que forman la unión, lo que provoca el aumento, o disminución, del número de canales involucrados en el transporte de electrones. Por otro lado, las mesetas formadas entre saltos son valores que permanecen con una cierta pendiente en función de la distancia relativa entre los electrodos, lo que se conoce como “plateau” de conductancia.

Generalmente, justo antes de la rotura total del contacto, la unión se establece por un solo átomo, permitiéndonos medir la conductancia electrónica de un único átomo. No obstante, la rotura puede producirse de diferentes maneras, por lo que, estos sistemas se estudian mediante análisis estadísticos tras la colecta de miles de trazas de conductancia. Estos análisis estadísticos se representan en forma de histogramas de conductancia para ruptura o formación, los cuales representan el número de veces que se obtiene un valor determinado de conductancia. En esta línea se describen las tres metodologías para realizar medidas y estudios de transporte electrónico en función del ángulo:

Metodología 1: En base a la metodología histórica utilizada, el estudio del transporte electrónico en función del ángulo puede realizarse a través de la comparación de los histogramas de conductancia obtenidos para cada ángulo. Es decir, se realizaría una experiencia completa de miles de uniones y rupturas para cada ángulo, utilizando siempre el mismo número de trazas de conductancia para obtener los histogramas.

Metodología 2: Una vez conocido el valor de conductancia típico de un único contacto atómico entre los electrodos para un ángulo determinado (tras haberlo caracterizado con la metodología 1), podemos realizar histogramas de conductancia en función del ángulo relativo entre los electrodos, realizando la unión atómica para cada ángulo determinado. Es decir, partiendo de los electrodos separados y con el ángulo relativo entre ellos seleccionado, se busca el contacto de un único átomo. Para cada cambio angular se deben separar los electrodos y volver a contactar en único átomo. En esta metodología no es necesario estar siempre en la misma unión atómica.

Metodología 3: En esta metodología partimos de un contacto atómico ya generado, pudiendo iniciar ahora la rotación durante las medidas de conductancia. Es decir, generamos mapas de conductancia versus a ángulo de giro relativo para un tipo de contacto específico. En nuestro caso ejemplo sería de un único átomo capturado entre dos nanoelectrodos. Con esta metodología, se pueden realizar histogramas de conductancias en función del ángulo relativo entre los electrodos.

Para conseguir desarrollar el microscopio objeto de la presente invención y que éste pueda funcionar como *spin-switch* en una tecnología Tw-STM-BJ, se utiliza las metodologías 2 o 3 descritas anteriormente. Es decir, partiendo de un contacto atómico entre los electrodos, se gira uno de ellos (con separación previa de los electrodos o sin ella) de tal manera que, se puede ajustar el transporte de espín que atraviesa el sistema gracias al giro mecánico. En este caso, los electrodos del microscopio deben ser materiales 2D, que tengan orbitales de

conducción cuyo solape entre láminas cambie al variar el ángulo, desde un valor máximo a nulo. A modo de ejemplo, podría ser grafeno o fosforenos, los cuales tienen conducción electrónica a través de sus orbitales p. Además, estos electrodos deben ser conductores de espín único bien por inducción o por ser aislantes topológicos (Quantum Spin Hall Insulators).

- 5 Aquellos materiales que requieran la inducción de espín único, se les deben nanolitografiar bornes de un material que permita inyectar corriente polarizada. Al haber inducido un espín determinado en el borde de los electrodos, cuando se giran las láminas, se cambia la alineación de los orbitales, pudiendo cambiar el transporte de espín que atraviesa el sistema.

- 10 Una vez los electrodos y material cumplen las características requeridas para poder realizar un *spin-switch*, se debe integrar en un método de medida de cuatro puntas para poder medir el transporte de espín. Los bornes nanolitografiados que actúen como detector pueden ser de platino y ferromagnéticos aquellos que hagan de inductor de espín.

- 15 En cuanto a la técnica STM-BJ, la configuración es la misma que en la anterior, solo que el segundo electrodo es a ángulo fijo, por tanto, o bien se puede dejar el motor parado o bien se puede reemplazar el motor por una base fija en la que se pueda colocar y fijar el segundo el electrodo.

- 20 En cuanto a la realización de estudios de efecto túnel estándar (STM), el primer portamuestras tiene forma de punta atómicamente afilada, mientras que el segundo es una superficie metálica enfrentada perpendicularmente a ésta. En este sentido, podemos reemplazar el motor por una base fija en la que se pueda colocar y fijar el segundo electrodo o, aprovechando la existencia del motor, se puede incorporar en él un portamuestras múltiple rotatorio accionado por el motor. Con esta última configuración, mediante el anclaje mecánico de varias muestras al portamuestras y conectándolas a un voltaje bias común, se puede cambiar de zona de trabajo o incluso cambiar de muestra de medida, con un simple giro de
- 25 motor. En esta configuración el carro del microscopio, pieza que porta el primer electrodo, posee una oquedad en la que se introduce un piezotubo, el cual permite el movimiento del primer electrodo en las tres direcciones del espacio, y con esto el escaneo de la superficie del segundo electrodo.

- 30 Teniendo en cuenta estos aspectos, el presente invento aporta una solución al problema de poder disponer de un aparato con el que se permite realizar estudios de twistrónica y espintrónica de forma combinada, siendo un aparato industrialmente fabricable con un fácil ensamblaje, lo cual permite obtener una amplia versatilidad ya que se puede cambiar de

técnica de trabajo únicamente sustituyendo algunas de sus piezas de manera rápida y sencilla.

Otra ventaja que aporta el presente invento, así como su metodología, es que no alteran su funcionalidad en presencia de campos magnéticos. Generalmente, los microscopios metálicos presentan impurezas magnéticas las cuales causan efectos de magneto-construcción, afectando así a las medidas de topografía o de transporte eléctrico/espín. Dado que este microscopio está compuesto por materiales poliméricos no existen dichos efectos de magneto-constricción sobre el instrumento; y, además permite que los estudios pueden realizarse en condiciones ambiente y/o a cualquier temperatura a menor coste que los dispositivos conocidos.

Finalmente, otros aspectos ventajosos de la presente invención es que el microscopio permite ayudar a la generación de *gaps* dinámicos, de ángulo fijo o variable, de proximidad túnel entre electrodos bidimensionales enfrentados y girados. Esto hace que este microscopio esté capacitado para ser utilizado en la secuenciación de ADN, RNA, proteínas, azúcares o biomateriales. Además, el hecho de que pueda realizar y estudiar el transporte electrónico en uniones atómicas torsionadas hace que sea potencialmente útil para el estudio de *straintronica*, que es la rama de la ciencia que estudia el comportamiento electrónico de los materiales cuando son sometidos a un esfuerzo o deformación.

Se ha de tener en cuenta que, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones, el término “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con el objeto de completar la descripción y de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, se presenta un juego de figuras y dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo se representa lo siguiente:

Figura 1.- Muestra en la parte izquierda (1.A) una ilustración de los resultados de dos electrodos de grafeno enfrentados en ángulo 0 grados. En la parte derecha (1.B) muestra una ilustración de los resultados de dos electrodos enfrentados mediante un ángulo relativo de 90 grados e interconectados por un único átomo de carbono.

Figura 2.- Muestra una vista en perspectiva isométrica de un ejemplo del microscopio objeto de la presente invención en configuración para desarrollar estudios Tw-STM-BJ.

- 5 Figura 3.- Muestra una vista en perspectiva isométrica de un ejemplo del microscopio objeto de la presente invención en configuración para desarrollar estudios STM-BJ sin motor, y donde se ve un detalle ampliado del portamuestras fijo con el primer electrodo.

- 10 Figura 4.- Muestra una vista en perspectiva isométrica de un ejemplo del microscopio objeto de la presente invención en configuración para desarrollar estudios STM, y donde se ve un detalle ampliado del portamuestras fijo con el primer electrodo.

- 15 Figura 5.- Muestra una ilustración de dos láminas bidimensionales puestas en los portamuestras del microscopio y conectadas al circuito de dos terminales que mide su transporte electrónico; donde este circuito está compuesto por una batería y un amplificador de corriente voltaje puestos en serie, estando el circuito en conexión con un dispositivo electrónico programable externo; y donde en uno de los portamuestras se puede observar la capacidad de giro de uno de los electrodos bidimensionales.

- 20 Figura 6.- Muestra un resultado experimental donde hay una comparación de histogramas de conductancia $[G_0]$ para los valores (C) de los electrodos de oro (Au) limpio obtenidos a partir del Tw-STM-BJ, para diferentes ángulos entre los electrodos y donde se señalan dichas posiciones de los electrodos.

25 **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE UNOS MODOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION**

Tal y como se puede observar en el juego de figuras anterior, a continuación, se detallan unos posibles modos de realización del microscopio objeto de la invención.

- 30 Concretamente, en la Fig.2 se muestra una realización del microscopio para la realización de estudios Tw-STM-BJ, es decir, estudios de transporte electrónico y de espín a ángulo variable. Para ello, el microscopio comprende:
una pieza o cuerpo central (1), que permite el ensamblaje mecánico del resto de piezas mediante varillas roscadas (14) y tuercas (13), y que da soporte y sujeción;

un carro (2), en cuyo extremo se encuentra anclado un primer electrodo (3) del microscopio en un portamuestras fijo (11); donde el carro se encuentra situado sobre unas piezopilas (4), las cuales están colocadas sobre el cuerpo y permiten que el carro realice un movimiento unidireccional hacia delante y hacia atrás; y donde en la parte inferior del carro posee un muelle (5a) anclado al cuerpo a través de un fijador (5), que lo mantiene atraído hacia las piezopilas; y donde el carro comprende un vaciado pasante longitudinal donde introduce un tubo (12) de estabilidad y ensamblaje que afianza el movimiento unidireccional del carro; un soporte frontal (6), que queda enfrenteado al electrodo del carro, en donde se dispone un segundo electrodo (7) del microscopio, de modo que el segundo electrodo queda enfrenteado al electrodo del carro, y donde el soporte frontal comprende unos medios de control de giro o movimiento del segundo electrodo, concretamente comprende un motor de pasos (8) fijado al soporte frontal por medio de tornillos de sujeción (9), y donde el segundo electrodo (7) se dispone sobre un segundo portamuestras (10), que es un portamuestras de base rotatoria accionado por el motor;

y para mejorar el enfrentamiento entre electrodos y el movimiento del carro (2), entre el soporte frontal (6) y el cuerpo central (1) se puede disponer de unos separadores (15), de modo que el conjunto del microscopio permite disponer de un *spin-switch* constituido por dos electrodos enfrentados por sus bordes, que puede bloquear, permitir o ajustar el transporte de electrones polarizados en espín a partir de un giro mecánico de al menos uno de sus electrodos.

En la Fig.3 se muestra una realización del microscopio para desarrollar estudios STM-BJ convencional que comprende:

una pieza o cuerpo central (1), que permite el ensamblaje mecánico del resto de piezas mediante varillas roscadas (14) y tuercas (13), y que da soporte y sujeción;

un carro (2), en cuyo extremo se encuentra anclado un primer electrodo (3) del microscopio en un portamuestras fijo (11); donde el carro se encuentra situado sobre unas piezopilas (4), las cuales están colocadas sobre el cuerpo y permiten que el carro realice un movimiento unidireccional hacia delante y hacia atrás; y donde en la parte inferior del carro posee un muelle anclado al cuerpo a través de un fijador (5) y unas tuercas (13), que lo mantiene atraído hacia las piezopilas; y donde el carro comprende un vaciado pasante longitudinal donde introduce un tubo (12) de estabilidad y ensamblaje que afianza el movimiento unidireccional del carro;

un soporte frontal (6), que queda enfrenteado al electrodo del carro, en donde se dispone un segundo electrodo (7) del microscopio, de modo que el segundo electrodo queda enfrenteado

al electrodo del carro, y donde el segundo electrodo (7) está fijado en un segundo portamuestras (10) que es un portamuestras fijo, no requiriéndose en este caso un motor; de modo que el conjunto del microscopio permite estudiar el transporte electrónico del material que constituye los electrodos para ángulo fijo.

5

En la Fig.4 se muestra una realización del microscopio para desarrollar estudios STM que comprende:

una pieza o cuerpo central (1), que permite el ensamblaje mecánico del resto de piezas mediante varillas roscadas (14) y tuercas (13), y que da soporte y sujeción;

10 un carro (2), en cuyo extremo se encuentra anclado un primer electrodo (3) con forma de punta atómicamente afilada anclada a su portamuestras fijo (11); donde el carro se encuentra situado sobre unas piezopilas (4), las cuales están colocadas sobre el cuerpo y permiten que el carro realice un movimiento unidireccional hacia delante y hacia atrás; y donde en la parte inferior del carro posee un muelle anclado al cuerpo a través de un fijador (5), que lo mantiene
15 atraído hacia las piezopilas; y donde el carro comprende un vaciado pasante longitudinal donde introduce un tubo (12), que en este caso es un piezotubo, que permite el movimiento del electrodo en forma de punta en las 3 direcciones del espacio;

un soporte frontal (6), que queda enfrente al electrodo del carro, en donde se dispone de dos segundos electrodos (7) del microscopio, de modo que los segundos electrodos quedan
20 enfrente al electrodo del carro, y donde el soporte frontal comprende unos medios de control de giro o movimiento del segundo electrodo, concretamente comprende un motor de pasos (8) fijado al soporte frontal por medio de tornillos de sujeción (9), y donde los segundos electrodos (7) se disponen sobre un segundo portamuestras (10) de base rotatoria accionado por el motor, que es un portamuestras múltiple, y que en este caso es un portamuestras doble
25 donde se disponen los dos segundos electrodos; y donde hay unos separadores (15) entre el soporte frontal (6) y el cuerpo central (1).

La Figura 5 muestra de forma esquemática el circuito de funcionamiento del invento, donde se ilustran dos láminas bidimensionales colocadas en los portamuestras del microscopio,
30 siguiendo las referencias numéricas anteriores, el portamuestras fijo (11) y el segundo portamuestras (10), conectadas a un circuito de dos terminales. Las láminas bidimensionales conforman respectivamente el primer electrodo (3) y el segundo electrodo (7). Ambos electrodos se encuentran conectados en serie a una fuente de alimentación eléctrica (16), como puede ser una batería, y un amplificador (17), ambos externos a la estructura del
35 microscopio. Los cambios electrónicos que se producen en el sistema con el movimiento de

los electrodos se miden a través del voltaje de salida del sistema (v.out) y se interpreta mediante un conversor de señal (18) (*Digital Analog Converter-DAC*) conectado a un PC/dispositivo electrónico programado para gestionar/representar estas lecturas, y donde se pueden obtener, por ejemplo, los resultados mostrados en la Fig.6 en un estudio Tw-STM-BJ.

REIVINDICACIONES

1.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, que se caracteriza por que comprende:

- 5 una pieza o cuerpo central (1), que da soporte y sujeción a un carro (2), y queda unido a un soporte frontal (6);
un carro (2), en cuyo extremo se encuentra anclado un primer electrodo (3) del microscopio en un portamuestras fijo (11); donde el carro se encuentra situado sobre unas piezopilas (4) las cuales están colocadas sobre el cuerpo y permiten que el carro realice un movimiento
10 unidireccional hacia delante y hacia atrás; y donde en la parte inferior del carro posee un muelle (5a) que lo mantiene atraído hacia las piezopilas;
un soporte frontal (6) que comprende al menos un segundo electrodo (7) del microscopio dispuesto sobre un segundo portamuestras (10), de modo que el segundo electrodo queda enfrenteado por sus bordes al primer electrodo (3) del carro; y
15 donde ambos portamuestras (10,11) están conectados a un circuito que queda cerrado cuando ambos electrodos (3,7) se encuentran a una distancia túnel o en contacto atómico; y donde el citado circuito está en conexión con un dispositivo externo programado que mide la corriente y el transporte electrónico que atraviesa por el circuito del microscopio.

- 20 2.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde en el soporte frontal (6) se fija un motor de pasos (8).

- 3.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde el segundo electrodo (7) se dispone sobre un portamuestras (10) que es de base
25 rotatoria.

- 4.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según las reivindicaciones anteriores, donde el portamuestras (10) de base rotatoria es accionado por el motor de pasos (8).

- 30 5.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 4, donde el portamuestras (10) es un portamuestras múltiple.

- 6.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 2, donde el soporte frontal (6) y el motor de pasos (8) quedan fijados por unos tornillos de sujeción (9).
- 5 7.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde el cuerpo central (1) y el soporte frontal (6) quedan unidos por medio de unas varillas roscadas (14).
- 10 8.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde el muelle (5a) queda anclado al cuerpo a través de un fijador (5) y unas tuercas (13).
- 15 9.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde el carro (2) comprende un vaciado pasante longitudinal donde se introduce un tubo (12).
- 10.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, que comprende unos separadores (15) que se ubican entre el soporte frontal (6) y el cuerpo central (1).
- 20 11.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde los electrodos son materiales conductores, semiconductores o aislantes topológicos.
- 25 12.- Microscopio para realizar estudios de twistrónica y espintrónica, según la reivindicación 1, donde el circuito comprende una fuente de alimentación eléctrica (16) y un amplificador (17) que están conectados en serie a ambos electrodos (3,7), y un conversor de señal (18) de salida conectado al dispositivo electrónico programado externo.
- 30 13.- Uso de un microscopio como el definido en cualquiera de las reivindicaciones 1 – 12 para estudios de electrónica molecular seleccionados de entre estudios de topografía electrónica, estudios de transporte electrónico a ángulo fijo, y estudios de transporte electrónico y de espín a ángulo variable.

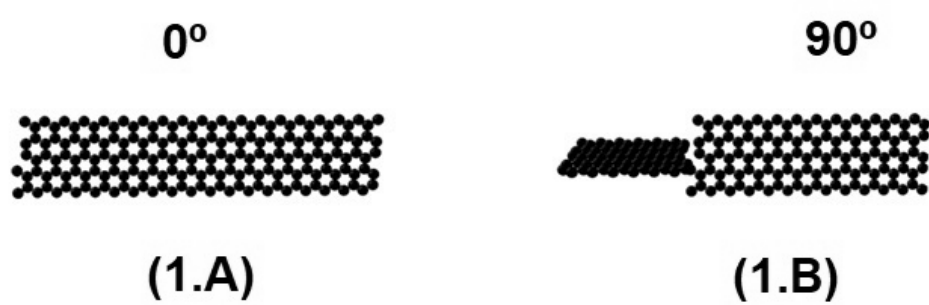


FIG.1

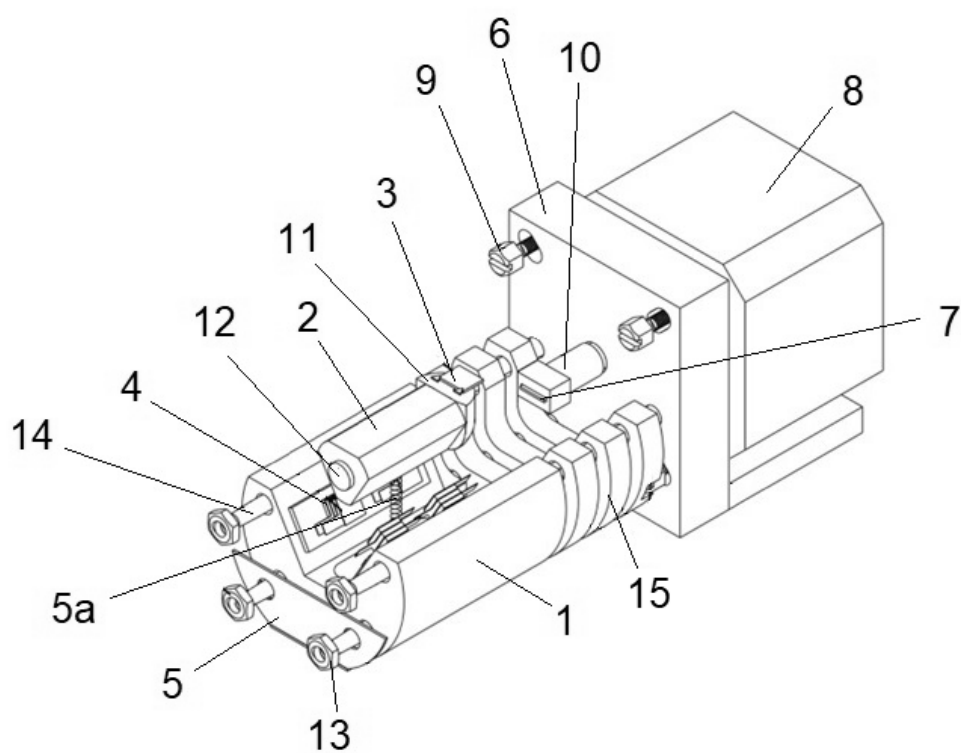


FIG.2

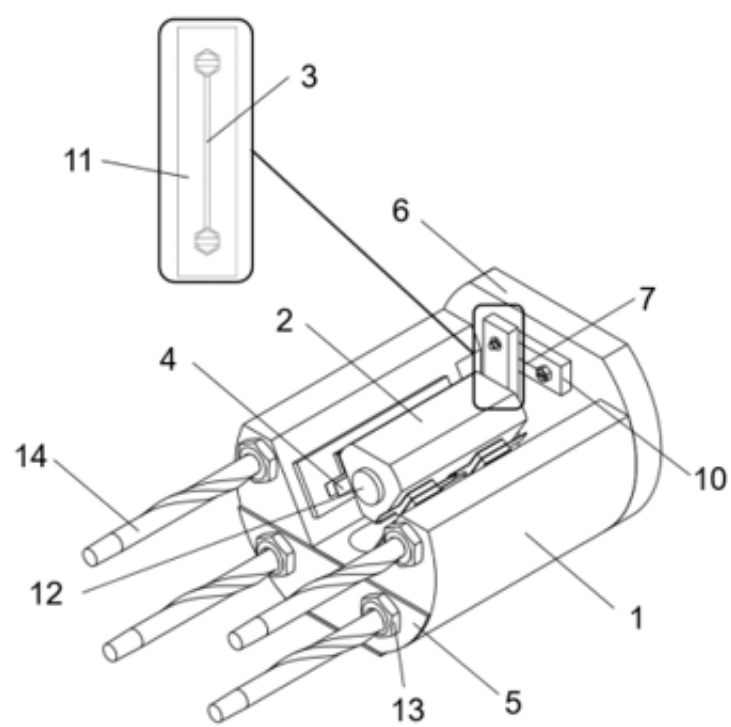


FIG.3

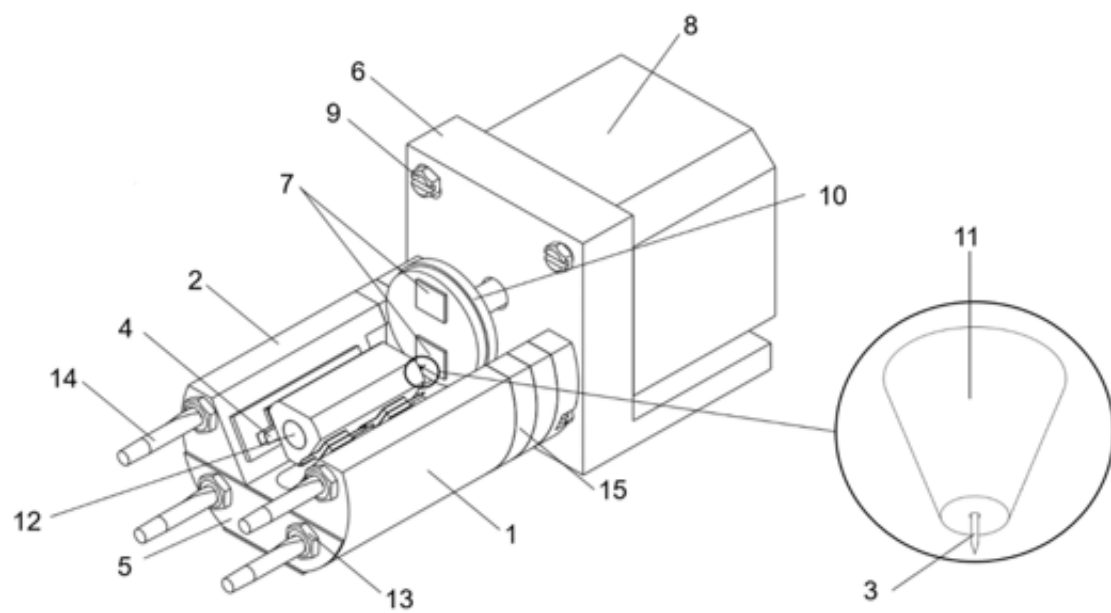


FIG.4

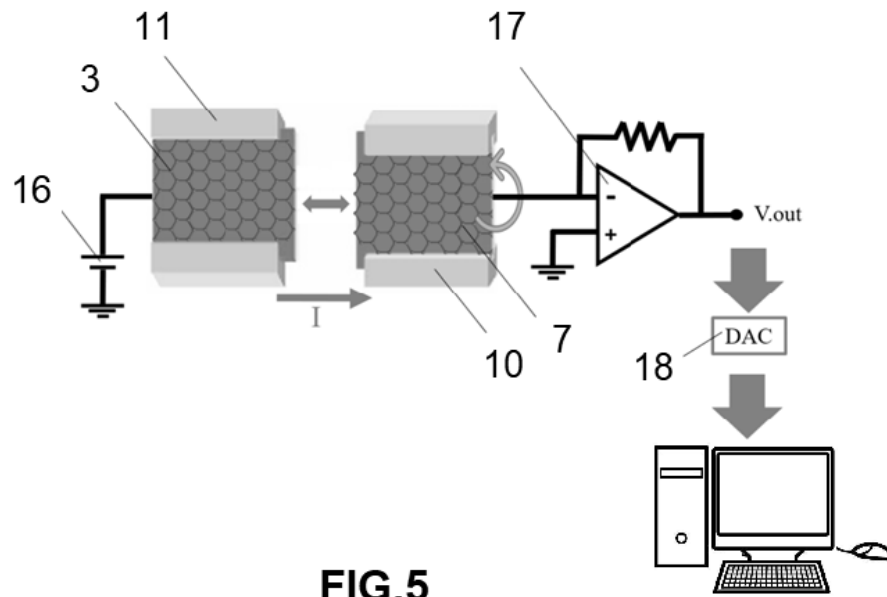


FIG.5

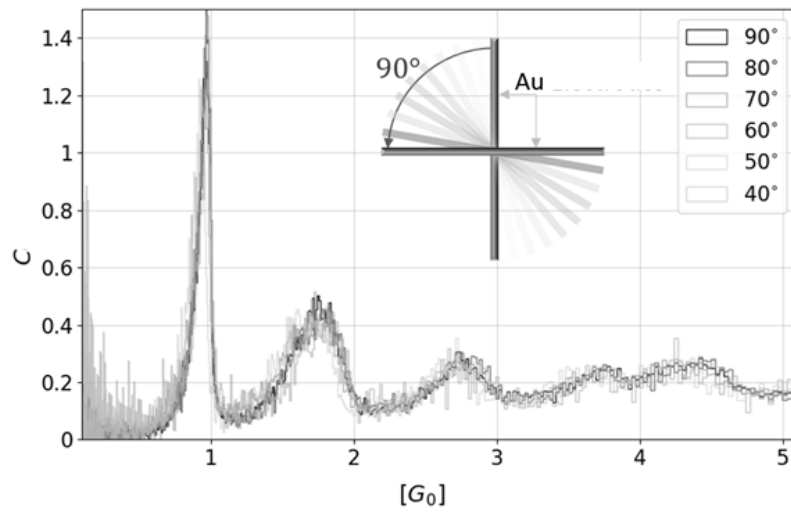


FIG.6