

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 007**

51 Int. Cl.:

G01R 33/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2013** **E 13736576 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2016** **EP 2872911**

54 Título: **Sistema de detección por micromagnetometría y procedimiento para detectar firmas magnéticas de materiales magnéticos**

30 Prioridad:

13.07.2012 EP 12305852

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

03.10.2016

73 Titular/es:

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER (50.0%)
163, rue Auguste Broussonnet
34000 Montpellier, FR y
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) (50.0%)

72 Inventor/es:

TERKI, FÉRIAL;
BOUSSEKSOU, AZZEDINE;
TRAN, QUANG HUNG;
KAMARA, SOULEYMANE;
KIM, CHEOLGI;
KIM, KUN WOO y
GANDIT, PHILIPPE

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 585 007 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de detección por micromagnetometría y procedimiento para detectar firmas magnéticas de materiales magnéticos.

5

[0001] En la actualidad, las nanopartículas con transición de espín reciben cada vez más interés no solo para la exploración de las propiedades físicas de estos materiales a escala mesoscópica, sino también para el desarrollo de nuevos materiales funcionales. Hasta ahora las observaciones de la transición de espín se reducían esencialmente a la investigación simple de la dependencia de la temperatura de la magnetización o la absorción óptica en un gran conjunto de nanopartículas con diferentes grados de tamaño y forma de dispersión. El desarrollo de procedimientos para la medición de partículas individuales con transición de espín es deseable tanto para la perspectiva fundamental como aplicativa, aunque estos esfuerzos siguen siendo escasos por el momento.

10

[0002] En el campo de las mediciones magnéticas a escala nanométrica, el estado de la técnica está representado por los dispositivos microSQUID y nanoSQUID. Estos dispositivos pueden detectar la inversión de la magnetización de pequeñas cantidades de nanopartículas magnéticas o imanes de una molécula individual depositando directamente las nanopartículas en los micropuentes de las uniones de Josephson.

15

[0003] Sin embargo, para las operaciones de funcionamiento silencioso, los micropuentes normalmente se hacen de materiales superconductores a baja temperatura, tales como el niobio. Tales dispositivos se describen, por ejemplo, en el artículo titulado "Magnetic Anisotropy of a Single Cobalt Nanocluster" de M. Jamet et al., publicado en la revista Physical Review Letters, vol. 86, número 20.

20

[0004] Hasta ahora la temperatura de trabajo de un sistema de detección por magnetometría de este tipo está limitado por debajo de unas pocas decenas de grados Kelvin.

25

[0005] En consecuencia, la técnica de microSQUID convencional no es adecuada para estudiar las propiedades de magnetización dentro del rango de temperatura ambiente, en especial para llevar a cabo mediciones precisas de las propiedades de los cambios a temperatura ambiente de un volumen pequeño o una nanopartícula individual de un material con transición de espín.

30

[0006] El procedimiento de detección actual ultrasensible SQUID adolece de varios inconvenientes como que se utiliza a muy baja temperatura y necesita unos instrumentos complejos que no son portátiles ni flexibles.

35

[0007] En los documentos siguientes se proponen y describen unos procedimientos alternativos:

- el artículo de Sunjong Oh et al. titulado "Analytes kinetics in lateral flow membrane analyzed by cTnl monitoring using magnetic method", publicado en Sensors and Actuators B: Chemical International devoted to Research and Development of Physical and Chemical Transducers, Elsevier SA, Suiza, vol. 160, n°1, 19 de agosto de 2011, páginas 747-752;

40

- el artículo de Sunjong Oh et al. titulado "Hybrid AMR/PHR ring sensor", publicado en Solid State Communications, Pergamon, GB, vol. 151, n° 18, 29 mayo de 2011, páginas 1248-1251;

45

- la solicitud de patente US 2006/194327 A1;

- la solicitud de patente US 2010/231213 A1.

[0008] Un problema técnico es el de evitar estas desventajas y proporcionar un sistema de magnetometría ultrasensible que realice las mediciones a temperatura ambiente y que sea menos complejo y ofrezca una implementación más portátil y flexible

50

[0009] Además, otro problema técnico es el de proponer un sistema de magnetometría y un procedimiento que mejore el rendimiento en la sensibilidad de detección con el fin de detectar un campo en nanoteslas o picoteslas generado por un "microobjeto o nanoobjeto individual" en las inmediaciones de la superficie activa del sensor.

55

[0010] Por consiguiente, la invención se refiere a un primer sistema de micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a escala microscópica o nanoscópica que comprende:

5 - un primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR que tiene una superficie activa que incluye una pista magnética en forma de circuito cerrado depositada sobre un sustrato, un primer terminal de corriente y un segundo terminal de corriente que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética en circuito cerrado hecha de un material magnético, un primer terminal de tensión y un segundo terminal de tensión que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética en circuito cerrado y de la que se detecta una salida de tensión diferencial V_b , un primer eje que pasa por el primero y segundo terminales de corriente en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material de la pista y perpendicular a un segundo eje que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión;

- una primera fuente de corriente o de tensión conectada entre el primero y segundo terminales de corriente para inyectar una corriente I a través del mismo;

15 - un primer dispositivo de medición de la tensión conectado entre el primero y segundo terminales de tensión para medir la tensión diferencial V_b entre el par de terminales de tensión;

- un conjunto de al menos una partícula magnética depositada en la superficie activa del primer sensor magnético;

20 - una unidad de proceso para detectar, a partir de un conjunto de diferentes tensiones diferenciales medidas, un cambio de flujo magnético representativo de la presencia de al menos una partícula magnética depositada;

la pista magnética del primer sensor magnético multianillo AMR/PHR que tiene:

25 - un primer brazo hecho de un primer conjunto de un número de anillos predeterminado m inferior a 18 de trayectorias sinuosas circulares delimitadas dentro de un primer cuadrante de la superficie del primer sensor magnético, estando la trayectoria sinuosa más exterior conectada al primer terminal de corriente y la trayectoria sinuosa más interior conectada al primer terminal de tensión,

30 - un segundo brazo hecho de un segundo conjunto del mismo número predeterminado m de trayectorias sinuosas circulares delimitadas dentro de un segundo cuadrante de la superficie del primer sensor magnético, estando la trayectoria sinuosa más exterior conectada al segundo terminal de corriente y la trayectoria sinuosa más interior conectada al primer terminal de tensión,

35 - un tercer brazo hecho de un tercer conjunto del mismo número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares delimitadas dentro de un tercer cuadrante de la superficie del primer sensor magnético, estando la trayectoria sinuosa más exterior conectada al segundo terminal de corriente y la trayectoria sinuosa más interior conectada al segundo terminal de tensión,

40 - un cuarto brazo hecho de un cuarto conjunto del mismo número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares delimitadas dentro de un cuarto cuadrante de la superficie del primer sensor magnético, estando la trayectoria sinuosa más exterior conectada al primer terminal de corriente y la trayectoria sinuosa más interior conectada al segundo terminal de tensión,

45 - la pista magnética es una estructura bicapa que incluye una película ferromagnética y una película antiferromagnética, o una estructura de válvula de espín, o una estructura tricapa que incluye una película ferromagnética, un metal y una película antiferromagnética;

caracterizado porque

50

- el sistema de micromagnetometría comprende medios para crear un campo de excitación magnética H_{AC} que hace producir a cada partícula magnética un campo magnético de dispersión, siendo este campo de excitación magnética H_{AC} oscilante a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w de 10 a 3 KHz; y

55 - las partículas magnéticas a ser detectadas son inmóviles y se colocan cerca o en contacto con la superficie activa de la pista magnética; y

- la corriente I inyectada por la primera fuente de corriente o tensión que pasa a través de los terminales de corriente es una corriente continua (CC) o una corriente alterna (CA), o una suma de una corriente continua y alterna; y

- la unidad de proceso está configurada o bien para

5 proporcionar una primera curva de calibración de una respuesta magnética térmica del fondo del primer sensor magnético sin partículas magnéticas depositadas en el mismo, en un rango de temperatura predeterminado, bajo unas primeras condiciones físicas y ambientales predeterminadas conocidas, y según un primer conjunto de condiciones de funcionamiento del sistema conocidas en términos de la corriente inyectada por la primera fuente de corriente o de tensión y del campo de excitación magnética H_{AC} aplicada; a continuación, después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas en el primer sensor magnético, determinar una segunda curva de evolución
10 frente a la temperatura de las mediciones de tensión diferencial corregidas o no a partir de un conjunto de mediciones de tensión diferencial emitidas desde el primer sensor magnético y llevadas a cabo variando la temperatura en el mismo intervalo de temperatura predeterminado, según las mismas primeras condiciones físicas y ambientales predeterminadas conocidas y según el mismo primer conjunto de condiciones de funcionamiento del sistema conocidas, a continuación,

15 para determinar una tercera curva como la diferencia la segunda curva y la primera curva en el mismo intervalo de temperatura; y para detectar la presencia de al menos una partícula magnética cuando el valor absoluto de todas las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene por encima de un umbral de detección predeterminado o, cuando la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una
20 amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT;

o bien,

25 después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas en el primer sensor magnético, las partículas magnéticas que son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, al variar la magnitud de la propiedad física en un intervalo predeterminado de la propiedad física bajo unas condiciones físicas conocidas predeterminadas y bajo unas condiciones de funcionamiento del sistema conocidas, para determinar
30 una primera curva de la evolución de las mediciones de tensión diferencia corregidas o no a partir de la evolución de las mediciones de tensión diferencial llevadas a cabo con el primer sensor magnético frente a la magnitud de la propiedad física; a continuación,

35 para determinar en el intervalo predeterminado de la magnitud de la propiedad física de una segunda curva como una curva de ajuste desde una parte inferior de la primera curva, siendo esta parte inferior de la primera curva correspondiente a un intervalo inferior incluido dentro del intervalo predeterminado de la propiedad física, donde el intervalo inferior tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación predeterminado; a continuación,

40 para determinar una tercera curva como la diferencia frente a la magnitud de la propiedad física de la conmutación entre las tensiones diferenciales de la primera curva y las tensiones diferenciales de la segunda curva dentro del mismo intervalo de magnitud de la propiedad física; y

45 para detectar la presencia de partículas magnéticas cuando la tercera curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

[0011] De acuerdo con realizaciones particulares, el sistema de micromagnetometría comprende al menos una de las siguientes características:

50 - un primer sensor de temperatura ambiente para medir una temperatura ambiente y/o un segundo sensor de ambiente para medir una propiedad física diferente de la temperatura ambiente colocado cerca de la superficie activa del primer sensor activo, donde la conmutación de la magnetización de las partículas magnéticas actúa cuando la temperatura o la propiedad física diferente de la temperatura está por encima o por debajo de un umbral de conmutación
55 predeterminado,

- medio para controlar y/o regular la temperatura ambiente y/o las propiedades físicas del ambiente diferentes de la temperatura,

- el medio para crear un campo de excitación magnética H_{AC} comprende una segunda fuente de corriente que suministra una corriente CA y al menos una bobina conectada a la segunda fuente de corriente CA, donde al menos la bobina está colocada en relación con el primer sensor magnético de manera que el campo de excitación magnética H_{AC} tiene un principal componente colineal con el primer eje,

5

- medio para crear de un campo de polarización del sensor magnético H_{DC} para desplazar el punto de funcionamiento del primer sensor magnético a una región con más sensibilidad, siendo el campo de polarización del sensor magnético H_{DC} constante a lo largo del tiempo, y siendo colineal con el campo de excitación magnética H_{AC} creado por el medio para crear un campo de excitación magnética H_{AC} ,

10

- donde el ángulo α formado entre el primer eje que pasa por el primero y segundo terminales de corriente y el eje del campo de polarización del sensor magnético H_{DC} se selecciona en el rango [0 grados, 90 grados] de modo que la sensibilidad del sensor magnético es máxima, y preferiblemente está comprendida dentro del intervalo [15 grados, 25 grados],

15

- el medio para crear un campo de excitación magnética H_{AC} es la fuente de corriente o de tensión conectada entre el primero y segundo terminales de corriente, siendo la fuente de corriente o de tensión configurada para generar una corriente alterna (CA) que oscila a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w que va de 10 Hz a 3 KHz, preferiblemente de 50 Hz a 150 Hz,

20

- comprende además un segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR que tiene la misma estructura que el primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR,

el primero y segundo sensores multianillo magnéticos híbridos AMR/PHR están colocados cerca uno del otro en el mismo sustrato bajo las mismas condiciones físicas conocidas para medir el mismo campo magnético cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores, donde el segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR tiene un primer terminal de corriente y un segundo terminal de corriente que forman un par de terminales de corriente conectados en paralelo y que comparten la misma primera fuente de corriente del primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR; y donde

30

el sistema de micromagnetometría está configurado

para diferenciar un primer conjunto de mediciones de la tensión diferencial realizadas por el primer sensor correspondiente a una primera configuración donde, las partículas magnéticas a detectar si están contenidas en la solución vertida, se depositan en el primer sensor magnético y se colocan bajo un conjunto conocido de condiciones ambientales y parámetros del funcionamiento del sistema, y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial de referencia realizadas por el segundo sensor correspondiente a una segunda configuración donde no hay partículas magnéticas depositadas en el mismo, bajo el mismo conjunto conocido de condiciones físicas y ambientales y parámetros de funcionamiento del sistema y para proporcionar una curva diferencial correspondiente; y, a continuación,

40

para detectar a partir de la curva diferencial una variación brusca correspondiente al menos a un cambio de campo de magnetización mínimo de 10nT.

45 **[0012]**

La invención se refiere a un segundo sistema de micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a escala microscópica o nanoscópica que comprende:

- un primer sensor magnético híbrido AMR/PHR y un segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR,

50

el primer sensor magnético híbrido AMR/PHR que tiene una superficie activa que incluye una primera pista magnética depositada sobre un sustrato, un primer terminal de corriente y un segundo terminal de corriente que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la primera pista magnética hecha de un material magnético, un primer terminal de tensión y un segundo terminal de tensión que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética y de la que se detecta una tensión diferencial de salida, un primer eje que pasa por el primero y segundo terminales de corriente en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material de la pista y perpendicular a un segundo eje que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión;

55

caracterizado porque

5 el sistema de micromagnetometría comprende un segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR colocado cerca del segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR sobre el mismo sustrato bajo las mismas condiciones físicas conocidas para medir el mismo campo magnético cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores,

10 el segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR que tiene una segunda superficie activa que incluye una segunda pista magnética depositada sobre el mismo sustrato, un primer terminal de corriente y un segundo terminal de corriente que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la segunda pista magnética hecha de un material magnético, un primer terminal de tensión y un segundo terminal de tensión que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la segunda pista magnética y de la que se detecta una tensión diferencial de salida, un primer eje que pasa por el primero y segundo terminales de corriente en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material de la pista y perpendicular a un segundo eje que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión;

15 la primera y segunda pistas magnéticas que tienen una misma forma entre una forma de cruz, un anillo individual en forma de circuito cerrado y un multianillo en forma de circuito cerrado, y que tienen una misma estructura de capas,

20 la estructura de capas de la primera y segunda pistas magnéticas es una estructura bicapa que incluye una película ferromagnética y una película antiferromagnética, o una estructura con válvula de espín, o una estructura tricapa que incluye una película ferromagnética, un metal y una película antiferromagnética;

y porque el sistema de micromagnetometría comprende:

25 - una misma primera fuente de corriente o tensión que está conectada y suministra en paralelo una corriente I al primer sensor magnético híbrido AMR/PHR y al segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR,

30 - un primer dispositivo de medición de la tensión conectado en su entrada al primero y segundo terminales de tensión del primer sensor magnético híbrido AMR/PHR y al segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR, y configurado para determinar la tensión diferencial entre una tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión del primer sensor magnético y una tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión del segundo sensor magnético;

35 - un conjunto de al menos una partícula magnética depositada en la superficie activa del primer sensor magnético;

- una unidad de proceso para detectar, a partir de un conjunto de diferentes tensiones diferenciales medidas emitidas por el primer dispositivo de medición de la tensión, un cambio de flujo magnético representativo de la presencia de al menos una partícula magnética depositada en el primer sensor magnético;

40 - un medio para crear un campo de excitación magnética H_{AC} que hace producir a cada partícula magnética un campo magnético de dispersión, siendo este campo de excitación magnética H_{AC} oscilante a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w de 10 a 3 KHz; y porque

45 - las partículas magnéticas o el objeto magnético a detectar son inmóviles y colocados cerca o en contacto con la superficie activa de la primera pista magnética; y

- la corriente I inyectada por la primera fuente de corriente o tensión que pasa a través de los terminales de corriente es una corriente continua (CC) o una corriente alterna (CA), o una suma de una corriente continua y alterna.

50 **[0013]** De acuerdo con una realización particular del segundo sistema de micromagnetometría, donde no hay partículas magnéticas u objeto magnético depositados a escala microscópica o nanoscópica en el segundo sensor, y la unidad de proceso está configurada para después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas o un objeto magnético sobre el primer sensor magnético,

55 o bien

bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas, para detectar la presencia de partículas magnéticas o un objeto magnético cuando una segunda diferencia como la diferencia entre una primera diferencia y una diferencia de referencia tiene una amplitud mayor que un umbral de detección predeterminado,

siendo la diferencia de referencia la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada con el primer sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada con el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo bajo las mismas condiciones físicas predeterminadas conocidas,

5

siendo la primera diferencia determinada por el primer dispositivo de medición de la tensión como la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada con el primer sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada con el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo,

10 y el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10nT,

o bien

15 cuando las partículas magnéticas son nanopartículas moleculares o un objeto magnético conmutable al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, bajo unas condiciones físicas conocidas predeterminadas, variando la magnitud de la propiedad física en un intervalo predeterminado de la propiedad física,

20 para determinar una curva como la evolución frente a la magnitud de la propiedad física de la diferencia entre un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y un segundo conjunto de mediciones de tensión, el primer conjunto de mediciones de tensión realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y el segundo conjunto de mediciones de tensión realizadas por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo y, a continuación, para detectar la presencia de partículas magnéticas u objeto magnético cuando la curva presente

25 un intervalo en la propiedad física de la conmutación en el que se produzca una transición que tenga una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10nT.

[0014] De acuerdo con realizaciones particulares del primero y segundo sistemas de micromagnetometría,

30 donde las partículas magnéticas están comprendidas en la familia de:

- Cualesquiera nanopartículas moleculares conmutables en forma de $A_n B_k [M(CN)_6]_l \cdot m H_2 O$, donde A puede ser Co, Ni, Fe, etc, B y M pueden ser diversos metales de transición (Fe^{II} , Fe^{III} , Mn^{II} , Mn^{III} , fml a Co^{II} , Co^{III} , ...) y C es un catión de metal alcalino;

35

- Cualesquiera partículas paramagnéticas: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $Fe@Fe_3O_4$, $CoFe@Fe_3O_4$, Ni, ... ;

- Cualesquiera partículas ferromagnéticas: Fe, CoFe, Ni;

40 - Cualesquiera partículas antiferromagnéticas;

- Cualesquiera partículas con estructura multicapa de Ti/Fe, Cr, NiO, Co_3O_4 , $\alpha-Fe_2O_3$, CuO, MnO, nanopartículas de Cr_2O_3 ;

45 - Cualquiera microesfera magnética hecha de Fe_3O_4 con la matriz de polímero en forma de esfera y de cualquier tamaño desde 50 nm a 10 micras.

[0015] La invención también se refiere a un primer procedimiento de detección para detectar la presencia de

50 los pasos siguientes de, en primer lugar, calibrar en temperatura bajo unas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas el primer sensor magnético cuando el sistema comprende un primer sensor magnético individual, o el conjunto del primero y segundo sensores magnéticos cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, proporcionando una primera curva de calibración del ruido térmico de fondo; a continuación

55

depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas sobre el primer sensor magnético; a continuación,

bajo las mismas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas, mediante la variación de la temperatura en un intervalo predeterminado de la temperatura, cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor

magnético individual, emitir una segunda curva como la evolución de las mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor frente a la temperatura, o

5 cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, emitir un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el segundo sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una segunda curva como la evolución frente a la temperatura de la diferencia entre el primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo conjunto de mediciones tensión diferencial;

10 determinar una tercera curva como la diferencia frente a la temperatura entre las tensiones diferenciales de la segunda curva y las tensiones diferenciales de la tercera curva dentro del mismo intervalo de temperatura; y

15 detectar la presencia de al menos una partícula magnética cuando el valor absoluto de todas las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene estable por encima de un umbral de detección predeterminado o, cuando la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT;

20 **[0016]** La invención también se refiere a un segundo procedimiento de detección para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas realizado por un sistema de micromagnetometría, que comprende los pasos siguientes de

25 depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas sobre el primer sensor magnético, siendo las partículas magnéticas nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, a continuación

en un paso siguiente, bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas, variando la magnitud de la propiedad física durante un intervalo predeterminado de la propiedad física,

30 cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético individual, emitir una primera curva como la evolución de las mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor frente a la magnitud de la propiedad física, o cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, emitir un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una segunda curva como la evolución frente a la propiedad física de la diferencia entre el primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial; a continuación

40 determinar en el intervalo predeterminado de la propiedad física una segunda curva como una curva de ajuste a partir de una parte inferior de la primera curva, siendo esta parte inferior de la primera curva correspondiente a un intervalo inferior incluido dentro del intervalo predeterminado de la propiedad física, que tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación predeterminado;

45 determinar una tercera curva como la diferencia frente a la magnitud de la propiedad física de la conmutación entre las tensiones diferenciales de la primera curva y las tensiones diferenciales de la segunda curva dentro del mismo intervalo de magnitud de la propiedad física; y

50 detectar la presencia de partículas magnéticas cuando la tercera curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

[0017] De acuerdo con realizaciones particulares, en el segundo procedimiento de detección para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas, la propiedad física de la conmutación es la temperatura, la presión, la irradiación óptica, el campo eléctrico, el campo magnético, las moléculas químicas invitadas.

[0018] La invención se refiere a un tercer procedimiento de detección para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a

escala microscópica o nanoscópica realizado por un sistema de micromagnetometría, que comprende los pasos siguientes de

5 depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas o un objeto magnético individual sobre el primer sensor magnético, a continuación

o bien

bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas,

10

emitir una primera medición de la tensión realizada por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una primera diferencia entre la primera medición de la tensión y la segunda medición de la tensión; a continuación

15

detectar la presencia de partículas magnéticas o un objeto magnético cuando una segunda diferencia como la diferencia entre la primera diferencia y una diferencia de referencia tiene una amplitud mayor que un umbral de detección predeterminado,

20 siendo la diferencia de referencia la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada por el primer sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, bajo las mismas condiciones físicas predeterminadas conocidas, y siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10nT,

25

o bien

30 cuando las partículas magnéticas son nanopartículas moleculares o un objeto conmutable individual al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, bajo unas condiciones físicas conocidas predeterminadas, variando la magnitud de la propiedad física en un intervalo predeterminado de la propiedad física, a continuación

35 emitir un primer conjunto de mediciones de tensión realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión realizadas por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una curva como la evolución frente a la magnitud de la propiedad física de la diferencia entre un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y un segundo conjunto de mediciones de tensión; a continuación

40 detectar la presencia de partículas magnéticas u objeto magnético cuando la curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT,

45 **[0019]** La invención también se refiere a un sistema de medición de la humedad o de detección de gas que comprende un sistema de micromagnetometría, donde las partículas son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación por temperatura predeterminado, siendo el umbral de conmutación por temperatura predeterminado dependiente del grado de humedad del ambiente, o de la concentración en el ambiente de cualquier vapor de moléculas externas,

50 y donde

la unidad de proceso está configurada para determinar el grado de humedad o la concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas a partir de mediciones del cambio de campo magnético de las partículas magnéticas que son sensibles al grado de humedad o la concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas, y a partir de 55 una curva gráfica previamente determinada entre un grado de humedad calibrado o una concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas calibrada, medido con otro procedimiento y un parámetro correspondiente tal como un umbral de temperatura, una temperatura de transición, o una anchura de un bucle de histéresis determinado a través de un cambio en la propiedad magnética de las partículas magnéticas detectadas por el procedimiento de micromagnetometría definido anteriormente.

- [0020]** De acuerdo con una realización particular, en el sistema de medición de la humedad o la detección de gas, el vapor de moléculas externas que se puede detectar se encuentra entre las moléculas externas de la familia que consiste en N₂, He, I₂, CO₂, etanol, metanol, 2-propanol, acetona, D₂O, CS₂, CO, yodo (I), bromo (Br), cloro (Cl), benceno, tolueno, clorobenceno, bromobenceno, yodobenceno, diclorobenceno, triclorobenceno, pirazina, piridina, pirrol, tiofeno, furano, THF.
- [0021]** Una mejor comprensión de la invención se facilitará mediante la lectura de la descripción siguiente, que se da únicamente a título de ejemplo y con referencia a los dibujos en los que:
- 10 - La figura 1 es una vista de la arquitectura de un sistema de micromagnetometría de acuerdo con una primera realización de la invención donde un campo magnético de excitación H_{AC} es generado por un medio externo al sensor;
- La figura 2 es una vista detallada plana del sensor magnético multianillo híbrido AMR/PHR utilizado por el sistema de micromagnetometría de la Figura 1;
- 15 - La figura 3 es una vista esquemática eléctrica del sensor magnético multianillo híbrido AMR/PHR de la figura 2;
- La figura 4 es una vista de diferentes perfiles de la tensión de detección frente al campo magnético de polarización, estando cada perfil caracterizado por el ángulo de orientación a formado entre el eje fácil del sensor magnético y la dirección del campo magnético externo;
- 20 - La figura 5 es una vista de la evolución de la sensibilidad deducida a partir de los perfiles de la figura 4 frente al ángulo de orientación α ;
- 25 - - La figura 6 es una vista de la arquitectura de un sistema de micromagnetometría de acuerdo con una segunda realización de la invención donde un campo magnético de excitación H_{AC} es generado en parte por el propio primer sensor magnético;
- 30 - La figura 7 es una vista de la arquitectura de un sistema de micromagnetometría de acuerdo con una tercera realización de la invención donde un segundo sensor magnético se ha añadido como un sensor magnético de calibración;
- La figura 8 es un ejemplo de un diagrama de flujo de un procedimiento de detección por micromagnetometría de acuerdo con una primera realización de la invención, el procedimiento se lleva a cabo cuando las partículas magnéticas son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación;
- 35 - La figura 9 es una vista ejemplar de una primera curva de la evolución frente a la temperatura de las mediciones de tensión proporcionados por el sistema de micromagnetometría de la figura 1 cuando las partículas con transición de espín se depositan en la superficie activa del primer sensor magnético y la temperatura varía de 300 K a 350 K, y de una segunda curva de ajuste correspondiente determinada por el procedimiento de la figura 6;
- 40 - La figura 10 es una vista de la tercera curva determinada a partir de la primera y segunda curvas de la figura 7 de acuerdo con el procedimiento de la figura 6;
- 45 - La figura 11 es un ejemplo de diagrama de flujo de un procedimiento de detección por micromagnetometría de acuerdo con una segunda realización de la invención llevada a cabo para una familia más amplia de partículas magnéticas, que incluye nanopartículas moleculares conmutables por magnetización, partículas paramagnéticas, partículas ferromagnéticas, partículas antiferromagnéticas, microesferas magnéticas hechas de Fe₃O₄ en una matriz de polímero;
- 50 - La figura 12 es una vista de una curva de calibración del ruido de fondo representativa de la respuesta magnética térmica del primer sensor magnético sin partículas magnéticas depositadas en el mismo;
- 55 - La figura 13 es una vista de las temperaturas de transición de las partículas con transición de espín detectadas bajo dos condiciones de humedad diferentes, 80% y 60%, respectivamente;
- La figura 14 es una vista parcial de un ejemplo de una variante del sistema de micromagnetometría de la figura 7

donde los dos sensores magnéticos multianillo son sustituidos por sensores magnéticos en forma de cruz.

[0022] De acuerdo con la figura 1, un sistema de micromagnetometría (2) para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas comprende un primer sensor magnético multianillo híbrido magnetoresistivo anisotrópico (AMR) con resistividad Hall planar (PHR) (4), una primera fuente de corriente o tensión (6), un primer dispositivo de medición de la tensión (8), un conjunto (10) de al menos una partícula magnética (12) depositada sobre una superficie activa (14) del primer sensor magnético (4), un primer sensor de temperatura ambiente (16), un medio (18) para controlar y/o regular la temperatura ambiente de las partículas magnéticas, un medio (20) para generar un campo de excitación magnética alterna H_{AC} que haga producir a cada partícula magnética un campo magnético de dispersión, un medio (21) para generar un campo de polarización del sensor magnético H_{DC} , y una unidad de proceso (22).

[0023] El primer sensor magnético multianillo magnético híbrido AMR/PHR (4) o el primer sensor magnético incluye en su superficie activa (14) una pista magnética (24) en forma de circuito cerrado depositada sobre un sustrato (26).

[0024] El primer sensor magnético (4) tiene un primer terminal de corriente (28) y un segundo terminal de corriente (30) que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética en circuito cerrado (24).

[0025] El primer sensor magnético (4) tiene un primer terminal de tensión (32) y un segundo terminal de tensión (34) que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la primera pista magnética en circuito cerrado (24) y de la que se detecta una tensión diferencial de salida.

[0026] El primer sensor magnético (4) tiene un primer eje (40) o eje fácil que pasa por el primero y segundo terminales de corriente (28, 30) en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material y perpendicular a un segundo eje (42) que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión (32, 34).

[0027] La primera fuente de corriente o tensión (6), conectada entre el primero y segundo terminales de corriente, está configurada para inyectar una corriente de polarización de CC I al primer sensor magnético (4) a través del par de primero y segundo terminales de corriente (28, 30). La primera fuente de corriente (6) es por ejemplo una fuente de corriente Keithley 2400 y la amplitud de la corriente de polarización de CC se fija igual a 1 mA.

[0028] Un primer dispositivo de medición de la tensión (8) está conectado entre el primero y segundo terminales de tensión (32, 34) para medir la tensión diferencial V_b entre el par de terminales de tensión (32, 34).

[0029] El dispositivo de medición de la tensión (8) comprende un amplificador de bajo nivel de ruido 44 con una ganancia de 20 dB para amplificar la tensión diferencial detectada y conducir la señal de salida obtenida a un dispositivo amplificador de sincronización 46 basado en un circuito de bucle de enganche de fase. El amplificador de sincronización está configurado para enganchar la señal de tensión diferencial medida en la señal del campo de excitación magnética alterna y para detectar el máximo medido de tensión diferencial medida en la salida del par de terminales de tensión (32, 34).

[0030] El primer sensor de temperatura ambiente (16) está configurado para medir una temperatura representativa de la temperatura ambiente T real de las partículas magnéticas (12) y el primer sensor magnético (4) y, preferiblemente, se encuentra cerca de la superficie activa (14) del primer sensor magnético (4). Por ejemplo, el sensor de temperatura ambiente (16) es una resistencia de platino de 100 Ohms.

[0031] El medio (18) para controlar y/o regular la temperatura T está configurado para calentar por un calentador 48 de una manera controlada el ambiente de las partículas magnéticas (12) y, preferiblemente, se encuentra cerca de la superficie activa (14) del primer sensor magnético (4). El calentador 48 es por ejemplo una resistencia Minco unida al primer sensor magnético (4) y conectada a un controlador de temperatura Lakeshore 332 50 que controla la variación de temperatura ambiente T al variar la temperatura T de 300 K a 350 K.

[0032] El medio (20) para crear un campo de excitación magnética alterna H_{AC} se ha configurado para hacer producir a cada partícula magnética (12) un campo magnético de dispersión, siendo este campo de excitación magnética H_{AC} oscilante a lo largo del tiempo a una frecuencia constante ω de 10 a 3 KHz, aquí fijada en 100 Hz.

[0033] El medio (20) para crear el campo de excitación magnético alterno H_{AC} comprende aquí una segunda

fuerza de corriente (52) que suministra una corriente de CA que oscila en la frecuencia de 100 Hz, y al menos una bobina, aquí dos bobinas de Helmholtz (54), conectadas a la segunda fuente de corriente de CA (52).

5 **[0034]** Las dos bobinas de Helmholtz (54) están posicionadas en relación con el primer sensor magnético (4) de modo que un componente principal del campo de excitación magnética H_{AC} es colineal con el primer eje (40).

10 **[0035]** El medio (20) para crear de un campo de polarización del sensor magnético alterno H_{DC} se ha configurado para desplazar el punto de funcionamiento del primer sensor magnético (4) a una región con más sensibilidad, siendo el campo de polarización del sensor magnético H_{DC} constante a lo largo del tiempo, y siendo colineal con el campo de excitación magnética alterna H_{AC} .

15 **[0036]** El ángulo de polarización α formado entre el primer eje (40) que pasa por el primero y segundo terminales de corriente y el eje del campo de polarización del sensor magnético H_{DC} se selecciona en el rango [0 grados, 90 grados] de modo que la sensibilidad del sensor magnético (4) es máxima. Aquí, este ángulo α es igual a 20 grados.

20 **[0037]** Todo el primer sensor magnético (4) y, posteriormente, todas las partículas magnéticas (12) depositadas en el mismo se colocan por lo tanto bajo un campo magnético híbrido alterno y continuo ($H_{AC} + H_{DC}$), la dirección del mismo forma un ángulo de 20 grados con el eje fácil (40) del primer sensor magnético (4).

25 **[0038]** Con la combinación de ambos campos H_{AC} y H_{DC} , la sensibilidad S del primer sensor magnético (4) se ve reforzada.

30 **[0039]** Aquí, H_{DC} desplaza el punto de funcionamiento del sensor magnético (4) a la región con más sensibilidad, siendo la magnitud optimizada del campo magnético aquí igual a 1,4 mT.

35 **[0040]** El campo H_{AC} introducido para generar el campo de dispersión de las nanopartículas con transición de espín (12) aquí es igual a 0,5 mT en valor rms a la frecuencia de 100 Hz.

40 **[0041]** El conjunto (10) de al menos una partícula magnética (12) se deposita sobre la superficie del sensor magnético.

45 **[0042]** Aquí, las partículas magnéticas (12) son nanopartículas con transición de espín $[Fe(hptrz)_3](OTs)_2$ elaboradas en una solución homogénea de cloroformo. Se dejan caer directamente sobre toda la superficie activa (14) del primer sensor magnético.

50 **[0043]** Las partículas magnéticas (12) a ser detectadas son por lo tanto inmóviles y se colocan cerca o en contacto con la superficie activa (14) del primer sensor magnético (4).

55 **[0044]** Estas nanopartículas con transición de espín magnéticas (12) presentan una firma magnética que se corresponde con una transición diamagnética a paramagnética donde las temperaturas de transición o temperaturas de conmutación al aire libre con un grado de humedad predeterminado son $T_{1/2\downarrow}$, igual a 325 K y $T_{1/2\uparrow}$ igual a 331 K al tiempo que enfrían y calientan respectivamente.

60 **[0045]** Estas temperaturas de transición han sido verificadas mediante una prueba del cambio de reflectancia óptica que muestra los mismos valores en las mismas condiciones de humedad.

65 **[0046]** La unidad de proceso (22) se ha configurado para detectar, a partir de un conjunto de diferentes tensiones diferenciales medidas con el primer dispositivo de medición de la tensión (8), un cambio de flujo magnético representativo de la presencia de al menos una partícula magnética (12) depositada en la superficie activa (14) del primer sensor magnético (4).

70 **[0047]** Las partículas magnéticas (12) aquí se supone que son nanopartículas moleculares conmutables en términos de una transición entre dos estados magnéticos cuando sobrepasan un umbral de conmutación por temperatura predeterminado, siendo que la temperatura funcione como orden de conmutación o de accionamiento.

75 **[0048]** La unidad de proceso (22) se ha configurado para, después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas (12) en el primer sensor magnético (22), y, después de variar la temperatura T sobre el intervalo de temperatura predeterminado, determinar una primera curva de la evolución frente a la temperatura de las mediciones de tensión diferencial emitidas con el primer dispositivo de medición de la tensión (8) y llevadas a cabo

bajo las condiciones físicas y ambientales y los parámetros de funcionamiento del sistema conocidos.

- [0049]** La unidad de proceso (22) se ha configurado para determinar, posteriormente, sobre el intervalo de temperatura predeterminado una segunda curva como una curva de ajuste desde una parte inferior de la primera curva, siendo esta parte inferior de la primera curva correspondiente a un intervalo inferior incluido dentro del intervalo de temperatura predeterminado, donde el intervalo inferior tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación por temperatura.
- [0050]** La unidad de proceso (22) se ha configurado para determinar, posteriormente, una tercera curva como la diferencia frente a la temperatura de las tensiones diferenciales de la primera curva y las tensiones diferenciales de la segunda curva dentro del mismo intervalo de temperatura, concretamente [300K, 350K] .
- [0051]** La unidad de proceso (22) se ha configurado para detectar, posteriormente, la presencia de al menos una partícula magnética cuando la tercera curva presenta un intervalo de temperatura donde se produce una transición de la tensión y cuando la amplitud de esta transición es mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.
- [0052]** Como variante, el sistema de micromagnetometría comprende un segundo sensor para medir una propiedad física diferente de la temperatura, colocado cerca de la superficie activa del sensor activo, siendo que la conmutación de una magnetización de las partículas magnéticas entre dos estados de magnetización se acciona cuando la propiedad física diferente de la temperatura está por encima o por debajo de un umbral de conmutación predeterminado.
- [0053]** Como variante, el sistema de micromagnetometría comprende un segundo medio para controlar y/o regular una propiedad física del ambiente diferente de la temperatura, colocado preferiblemente cerca de la superficie activa del sensor activo.
- [0054]** Como variante, la unidad de proceso se ha configurado para proporcionar una primera curva de calibración del ruido térmico de fondo mediante la calibración en temperatura bajo unas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas el primer sensor magnético que no tiene partículas magnéticas en el mismo.
- [0055]** La unidad de proceso se ha configurado para, después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas en el primer sensor magnético, variando la temperatura en un intervalo de temperatura predeterminado bajo las mismas condiciones físicas predeterminadas conocidas, determinar posteriormente una primera curva de la evolución frente a la temperatura de las mediciones de tensión diferencial corregidas o no a partir de la evolución de las mediciones de tensión diferencial llevadas a cabo con el primer sensor magnético.
- [0056]** La unidad de proceso se ha configurado para determinar, posteriormente, una tercera curva como la diferencia frente a la temperatura de las tensiones diferenciales de la segunda curva y las tensiones diferenciales de la segunda primera dentro del mismo intervalo de temperatura.
- [0057]** La unidad de proceso se ha configurado para detectar la presencia de partículas magnéticas cuando el valor absoluto de las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene estable por encima de un umbral de detección predeterminado o, cuando la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.
- [0058]** De acuerdo con la figura 2, el primer sensor magnético (4) se basa en una arquitectura multianillo y se fabrica utilizando una técnica de litografía en una sala limpia de clase 1000 con un proceso de despegue.
- [0059]** Aquí, la pista magnética (24) es un material tricapa, por ejemplo, Ta(3)/NiFe(20)/Cu(0.2)/IrMn(10)/Ta(3) (nm). En esta estructura, la suave capa magnética de NiFe es el material de detección que se acopla débilmente a una capa antiferromagnética (IrMn) mediante un campo de polarización por intercambio de largo alcance a través de algunas capas atómicas de Cu.
- [0060]** La estructura tricapa Ta(3)/NiFe(20)/Cu(0.2)/IrMn(10)/Ta(3) nm se deposita mediante un sistema de pulverización magnetron de 6 pistolas con un vacío de aproximadamente 10^{-8} Torr.

[0061] Para evitar la contaminación, el sensor magnético se pasiva mediante una bicapa Si203/Si3N4 con un espesor nominal de 200 nanómetros.

[0062] El diámetro exterior del primer sensor magnético (4) aquí es igual a 300 micras y la anchura w de la pista magnética (24) es igual a 10 micras.

[0063] La pista magnética (24) del primer sensor magnético (4) tiene:

- un primer brazo (102) hecho de un primer conjunto de un número de anillos predeterminado m de trayectorias sinuosas circulares 104 delimitadas dentro de un primer cuadrante de la superficie (126) del sensor magnético (4), estando la trayectoria sinuosa más exterior (128) conectada al primer terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior 110 conectada al primer terminal de tensión (32),

- un segundo brazo (112) hecho de un segundo conjunto del mismo número predeterminado m de trayectorias sinuosas circulares 114 delimitadas dentro de un segundo cuadrante de la superficie 116 del sensor magnético 4, estando la trayectoria sinuosa más exterior (118) conectada al segundo terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior (120) conectada al primer terminal de tensión (32),

- un tercer brazo (122) hecho de un tercer conjunto del mismo número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares 124 delimitadas dentro de un tercer cuadrante de la superficie (126) del sensor magnético (4), estando la trayectoria sinuosa más exterior (128) conectada al segundo terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior (130) conectada al segundo terminal de tensión (34),

- un cuarto brazo (132) hecho de un cuarto conjunto del mismo número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares (134) delimitadas dentro de un cuarto cuadrante de la superficie (136) del sensor magnético (4), estando la trayectoria sinuosa más exterior (138) conectada al primer terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior (140) conectada al segundo terminal de tensión (34).

[0064] Esta arquitectura multianillo aumenta la sensibilidad del sensor magnético en una región compacta.

[0065] A medida que la longitud de los brazos aumenta con el número de anillos, llenando las trayectorias sinuosas sensibles, se refuerza el área de detección activa.

[0066] La dirección de la corriente cambia alternativamente entre trayectorias en anillo sucesivas, es decir, hay un intervalo del ángulo de la corriente $\theta = \pi / 2$ a 0 para la trayectoria 1 que se muestra en el recuadro de la figura 2, y $\theta = \pi$ a $3\pi / 2$ para la trayectoria 2 en el recuadro de la figura 2. El signo del valor calculado para la trayectoria 1 y 2 es el mismo, lo que significa que el efecto AMR para ambas corrientes es aditivo. Por lo tanto, la variación de la tensión máxima en los perfiles y en consecuencia la sensibilidad de campo de la resistencia del brazo aumenta el número de anillos.

[0067] El perfil de tensión para el anillo magnético completo, es decir, la suma de los efectos AMR y PHR, revela un comportamiento antisimétrico con el campo aplicado debido a la autocompensación de las resistencias de los brazos del anillo, donde las variaciones de tensión son aditivas para todos los componentes de unión.

[0068] La sensibilidad del primer sensor magnético se ve mejorada con el uso de una estructura tricapa que tiene un pequeño campo de acoplamiento por intercambio y una corriente activa alta.

[0069] Esta arquitectura multianillo aumenta la sensibilidad de campo y el área activa del sensor magnético.

[0070] Por lo tanto, el primer sensor magnético es un sensor híbrido magnetoresistivo (MR) altamente sensible que combina un efecto magnetoresistivo anisotrópico (AMR) y un efecto Hall planar (PSE) que es capaz de detectar la conmutación de los estados de espín de las nanopartículas con transición de espín.

[0071] Preferiblemente, el número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares está comprendido entre 9 y 13. Aquí, cada brazo tiene once trayectorias sinuosas o cuadrantes de anillos circulares, siendo que este número maximiza la sensibilidad del primer sensor magnético (4).

[0072] Esta pila multicapa presenta una sensibilidad muy alta de aproximadamente $S = 15$ voltios / T^{-1} y un bajo nivel de ruido blanco de aproximadamente $1 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ a 100 Hz.

[0073] De acuerdo con el esquema eléctrico de la figura 3, la geometría multianillo de la pista y la conectividad de los cuatro brazos conducen a una configuración de puente de Wheatstone.

[0074] La tensión de salida del primer sensor magnético se conoce como el efecto Hall planar y lo da la ecuación:

$$V_{PHH} = V_0 \sin \theta \cdot \cos \theta$$

[0075] Donde V_0 depende de los parámetros de estructura del sensor tal como $p_{||}$ resistividad paralela y la resistividad perpendicular p_{\perp} en relación con la magnetización del sensor, el espesor t del sensor, y el tamaño del sensor, θ es el ángulo entre la dirección de la magnetización real y el campo magnético aplicado.

[0076] La arquitectura de anillo proporciona ventajosamente un alto rendimiento de detección debido a la configuración eléctrica del puente de Wheatstone.

[0077] En el caso general, la tensión diferencial V_b detectada entre la primera tensión V_1 del primer terminal de tensión y la segunda tensión V_2 del segundo terminal de tensión se describe mediante la ecuación siguiente:

$$V_b = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_0$$

donde R_1, R_2, R_3, R_4 designa la resistencia del primero, segundo, tercero y cuarto brazos (102, 112, 122, 132), respectivamente.

[0078] Se contemplan tres configuraciones de carga de detección diferentes.

[0079] En una primera configuración referida como "configuración de puente cuadrante", las partículas magnéticas se depositan en un brazo individual, por ejemplo, en el cuarto brazo (132), siendo que los tres brazos restantes (102, 112, 122) no tienen partículas magnéticas en los mismos.

[0080] En esta primera configuración, las resistencias R_1, R_2, R_3 del primero, segundo, tercer brazos (102, 112, 122) son iguales a un mismo valor de resistencia de referencia R , y la resistencia R_4 del cuarto brazo (132) es igual a $R + \Delta R$.

[0081] En este primer caso, la tensión diferente detectada denominada V_{b1} sigue la ecuación:

$$V_{b1} = \left(\frac{\Delta R / R}{2(2 + \Delta R / R)} \right) V_0$$

[0082] En un segundo caso de configuración referida como "configuración de medio puente", las partículas magnéticas se depositan sobre dos brazos opuestos, por ejemplo, en los brazos segundo y tercero (112, 122), siendo que los dos brazos restantes (102, 132) no tienen partículas magnéticas en los mismos.

[0083] En esta segunda configuración, las resistencias R_1, R_4 del primero y cuarto brazos (102, 132) son iguales al mismo valor de resistencia de referencia R , y la resistencia R_2, R_3 de los brazos cargados segundo y tercero (112, 122) es igual a $R + \Delta R$.

[0084] En esta segunda configuración, la tensión diferente detectada denominada V_{b2} sigue la ecuación:

$$V_{b2} = \left(\frac{\Delta R / R}{2 + \Delta R / R} \right) V_0$$

[0085] En una tercera configuración referida como "configuración de puente completo", las partículas magnéticas se depositan sobre toda la superficie del sensor magnético, es decir, los cuatro brazos.

5

[0086] En esta tercera configuración, las resistencias R1, R4 del primero y cuarto brazos (102, 132) son iguales al mismo valor de resistencia de referencia $R + \Delta R$, mientras que las resistencias R2, R3 de los brazos cargados segundo y tercero (112, 122) es igual a $R - \Delta R$.

10 **[0087]** En esta tercera configuración, la tensión diferente detectada denominada V_{b3} sigue la ecuación:

$$V_{b3} = \frac{\Delta R}{R} V_0$$

15 **[0088]** Entre las tres configuraciones anteriormente, la configuración de puente completo presenta mayor sensibilidad.

[0089] De acuerdo con la figura, el primer sensor por micromagnetometría como se describe en la figura 3 se caracteriza con diferentes valores del ángulo de polarización α formado entre el eje fácil (40) del sensor magnético y la dirección del campo de polarización magnético.

20

[0090] Un conjunto (200) de diferentes perfiles (202, 204, 206, 208, 210, 212) se muestran correspondientes a un ángulo de polarización α fijado a 0, 10, 20, 45, 60, 90 grados, respectivamente.

25 **[0091]** La corriente de polarización del sensor magnético (4) permanece ajustada a 1 mA. El campo magnético de polarización H_{DC} se barre en el intervalo de -20 a 20 mT.

[0092] La sensibilidad S en un punto de un perfil, que se define como la pendiente dV/dH , se deduce de los perfiles de tensión, siendo que el máximo de la sensibilidad para cada valor α del ángulo de polarización se esboza en la curva 220 como se muestra en la figura 5.

30

[0093] El ángulo de polarización α formado entre campo magnético de polarización H_{DC} y el eje fácil (40) se selecciona de modo que la sensibilidad S es máxima.

35 **[0094]** A partir de la curva 220 que se muestra en la figura 5, la sensibilidad S es máxima para α igual a 20 grados y es igual a 16 V.T^{-1} . Este valor de 20 grados para el ángulo de polarización α se ha elegido en la figura 1.

40 **[0095]** Cuando se utiliza un sistema de micromagnetometría 2, la tensión medida efectiva V_{eff} entre los dos terminales de tensión y emitida desde el dispositivo de medida de la tensión contiene dos contribuciones: una respuesta de la tensión cóncava V_{drift} y una respuesta de la tensión causada horizontalmente por el campo directo generado a partir de las partículas magnéticas V_{stray} .

[0096] Por lo tanto, la tensión efectiva V_{eff} se puede expresar como:

$$V_{eff} = V_{drift} + V_{stray}$$

45

[0097] La respuesta de la tensión del sensor se puede describir mediante la expresión siguiente:

$$V_{drift} = C \frac{I}{t} (\rho_{\parallel} - \rho_{\perp})$$

5 **[0098]** Donde I es la corriente de polarización de CC aplicada al sensor magnético 4, t, ρ_{\parallel} , ρ_{\perp} son, respectivamente, el espesor y la resistividad de la capa de detección, en caso de corriente paralela y perpendicular a la magnetización.

10 **[0099]** De acuerdo con la figura 6, una segunda realización de un sistema de micromagnetometría (302) de acuerdo con la invención se deriva a partir del sistema de micromagnetometría (2) de la figura 1 y comprende algunas partes que se designan con los mismos números de referencia.

15 **[0100]** El sistema de micromagnetometría 320 de la figura 6 difiere del sistema de micromagnetometría de la figura 1 en que el medio (20) para crear el campo de excitación magnética H_{AC} externo al primer sensor magnético (4) se retira y se sustituye por el conjunto 320 formado por el primer sensor magnético (4) y una primera fuente de corriente modificada 326, conectado entre el primero y segundo terminales de corriente (28, 30).

20 **[0101]** En esta segunda realización, la primera fuente de corriente modificada se configura para generar una corriente alterna (CA) que oscila a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w que va de 10 a 3 kHz, aquí se establece en 100 Hz.

25 **[0102]** Por autoinducción, la pista magnética (24) del primer sensor magnético (4) es provista de una corriente alterna (CA) mediante la primera fuente de corriente modificada (326) y genera un campo de excitación magnética H_{AC} que hace producir a cada partícula magnética un campo magnético de dispersión, siendo este campo magnético de dispersión detectable por el primer sensor magnético.

30 **[0103]** En otras palabras, cuando se aplica la corriente de polarización de CA al primer sensor magnético (4), el sensor magnético (4) genera un campo magnético que rodea globalmente el eje fácil (40), siendo que la dirección del flujo de obedece a la ley de la Ampere.

35 **[0104]** La tensión medida entre los terminales de tensión V_b se puede escribir como:

$$V_b = S_0 \langle H_{\perp} \rangle + I \cdot R_{offset}$$

40 **[0105]** Donde I es la corriente del sensor magnético, S_0 es la sensibilidad del sensor magnético, (H_{\perp}) es el campo magnético en promedio sobre la superficie del sensor magnético.

45 **[0106]** En estas mediciones, las partículas magnéticas inmóviles dispuestas cerca de la superficie activa del sensor son magnetizadas por el propio campo magnético del sensor H_{self} .

50 **[0107]** Usando que H_{self} es proporcional a I y suponiendo que la magnetización de las partículas es directamente proporcional al campo aplicado, el campo de dispersión $\langle H_{stray} \rangle$ de las partículas magnéticas en promedio sobre la superficie del sensor magnético se puede escribir como:

$$\langle H_{stray} \rangle = \gamma \cdot \chi \cdot I$$

55 donde X es la susceptibilidad de la partícula magnética y r es una constante de proporcionalidad en función de la geometría del sensor magnético y de la distribución del volumen de las partículas magnéticas.

[0108] Usando el propio campo para magnetizar las partículas magnéticas garantiza que solo se van a magnetizar las partículas magnéticas depositadas cerca de la superficie activa del primer sensor magnético.

[0109] De manera similar al sistema de micromagnetometría de la figura 2, la tensión medida V_{eff} entre los dos terminales de tensión y emitida desde el dispositivo de medida de la tensión contiene dos contribuciones: una respuesta de la tensión cóncava V_{drift} y una respuesta de la tensión causada horizontalmente por el campo directo generado a partir de las partículas magnéticas V_{stray} , y se puede expresar como:

5

$$V_{eff} = V_{drift} + V_{stray}$$

[0110] De acuerdo con la figura 7, una tercera realización de un sistema de micromagnetometría (402) de acuerdo con la invención se deriva a partir del sistema de micromagnetometría (2) de la figura 1 y comprende algunas partes que se designan con los mismos números de referencia.

[0111] El sistema de micromagnetometría (402) de la figura 7 difiere del sistema de micromagnetometría de la figura 1 porque comprende además un segundo sensor magnético multianillo híbrido AMR/PHR (404) y porque el primer dispositivo de medición de la tensión (8) de la figura 1 se sustituye por un dispositivo de medición de la tensión modificado (408).

[0112] El segundo sensor magnético (404) tiene la misma estructura que la del primer sensor magnético y tiene una pista magnética en circuito cerrado (424) con el mismo patrón de forma.

[0113] El segundo sensor magnético (404) tiene un primer terminal de corriente (428) y un segundo terminal de corriente (430) que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética en circuito cerrado (424).

[0114] El segundo sensor magnético (404) tiene un primer terminal de tensión (432) y un segundo terminal de tensión (434) que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la primera pista magnética en circuito cerrado (424) y de la que se detecta una tensión diferencial de salida.

[0115] El segundo sensor magnético (404) tiene un eje fácil (440) que se define como el eje que pasa a través del primer terminal de corriente (428) y el segundo terminal de corriente (430).

30

[0116] El primero y el segundo sensores magnéticos (4, 404) se colocan de manera que sus respectivos ejes fáciles (40, 440) sean colineales.

[0117] El primero y el segundo sensores magnéticos (4, 404) se colocan cerca uno del otro en el mismo sustrato bajo las mismas condiciones físicas conocidas de manera que, se recibe y se detecta con el mismo ruido el mismo campo magnético, cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores.

[0118] El primer terminal de corriente (428) y el segundo terminal de corriente (430) del segundo sensor magnético se conectan respectivamente al primer terminal de corriente (28) y al segundo terminal de corriente (30) del primer sensor magnético (4).

[0119] De este modo, la primera fuente de corriente o de tensión (6) suministra en paralelo al primer sensor magnético (4) y al segundo sensor magnético (404) la corriente respectiva con las mismas características de ruido.

[0120] El primer dispositivo de medición de la tensión modificado 408 se basa en el primer dispositivo de medición de la tensión (8) de la figura 1, donde un segundo amplificador de bajo nivel de ruido (444) y una unidad de diferencial (450).

[0121] El segundo amplificador de bajo nivel de ruido (444) con una ganancia de 20 dB está conectado en sus entradas a un primer terminal de tensión (432) y un segundo terminal de tensión (434) y en su salida a una primera entrada de la unidad diferencial (450).

[0122] El primer amplificador de bajo nivel de ruido (4) está conectado en su salida a una segunda entrada de la unidad diferencial (450).

55

[0123] La unidad diferencial (450) tiene una salida conectada al dispositivo amplificador de sincronización 46 basado en un circuito de bucle de enganche de fase.

- [0124]** La unidad diferencial (450) está configurada para determinar la tensión de diferencia entre la tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión del primer sensor magnético (4) y la tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión del segundo sensor magnético (404).
- 5
- [0125]** De este modo las fuentes de ruidos comunes a los dos sensores magnéticos se cancelan por la unidad de sustracción (450).
- [0126]** Como variante del sistema de micromagnetometría (402) de la figura 7, el medio (20) para crear el campo de excitación magnética H_{AC} externo al primer sensor magnético (4) se retira y se sustituye por el conjunto (320) formado por el primer sensor magnético (4) y una primera fuente de corriente modificada (326), conectado entre el primero y segundo terminales de corriente (28, 30).
- 10
- [0127]** De acuerdo con la figura 8, una primera realización de un procedimiento de detección por micromagnetometría (500) para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas se realiza con un sistema de micromagnetometría como se define en las figuras 1, 6 y 7.
- 15
- [0128]** Este procedimiento (500) es aplicable a cualesquiera partículas magnéticas que son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación. Tales partículas magnéticas son cualesquiera nanopartículas moleculares conmutables en forma de $A_n B_m [M(CN)_6]_l \cdot m H_2 O$, donde A puede ser Co, Ni, Fe, etc, B y M pueden ser diversos metales de transición (Fe^{II} , Fe^{III} , Mn^{II} , Mn^{III} , $fml aCo^{II}$, Co^{III} , ...) y C es un metal alcalino.
- 20
- [0129]** El procedimiento de detección por micromagnetometría (500) comprende los pasos siguientes ejecutados sucesivamente.
- 25
- [0130]** En un primer paso (502), una cantidad desconocida de partículas magnéticas se deposita sobre el primer sensor magnético, siendo las partículas magnéticas nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación.
- 30
- [0131]** En un paso siguiente (504), bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas, variando la magnitud de la propiedad física sobre un intervalo predeterminado de la propiedad física,
- 35 cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético individual,
- se proporciona una primera curva como la evolución de las mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor frente a la magnitud de la propiedad física, o cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, son emitidas un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y se determina una primera curva como la evolución frente a la propiedad física de la diferencia entre el primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial.
- 40
- [0132]** A continuación, en un paso siguiente (506), sobre un intervalo predeterminado de la propiedad física, se determina una segunda curva como una curva de ajuste a partir de una parte inferior de la primera curva, siendo esta parte inferior de la primera curva correspondiente a un intervalo inferior incluido dentro del intervalo predeterminado de la propiedad física, que tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación predeterminado.
- 45
- [0133]** A continuación, en un paso (508), se determina una tercera curva como la diferencia frente a la magnitud de la propiedad física de la conmutación entre las tensiones diferenciales de la primera curva y las tensiones diferenciales de la segunda curva dentro del mismo intervalo de magnitud de la propiedad física.
- 50
- [0134]** En un paso siguiente (510), se detecta la presencia de partículas magnéticas cuando la tercera curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.
- [0135]** De acuerdo con la figura 9, un perfil de tensión representativo (522) evolución de la tensión efectiva V_{eff}

emitida por el sistema de micromagnetometría (2) frente a la temperatura ambiente T, y una curva de ajuste (524) se muestran en un marco de representación (520).

5 **[0136]** El marco de representación (520) comprende un eje de ordenadas (526) de la tensión emitida expresado en mV y un eje de abscisas (538) del eje de la temperatura ambiente expresada en grados Kelvin.

10 **[0137]** El perfil de tensión (522) presenta dos contribuciones: una respuesta de la tensión cóncava V_{drift} y una respuesta de la tensión causada horizontalmente por el campo directo generado a partir de las partículas con transición de espín V_{stray} .

[0138] Por lo tanto, la tensión efectiva V_{eff} se puede expresar como:

$$V_{eff} = V_{drift} + V_{stray}$$

15 **[0139]** El perfil de tensión (522) también presenta un bucle de histéresis (530) que tiene una parte curva superior en la dirección de calentamiento (532) y una parte curva inferior en la dirección de enfriamiento (534). Este bucle de histéresis (530) es una firma magnética de la transición de las partículas con transición de espín.

20 **[0140]** En la práctica, la respuesta de la tensión de la curva V_{drift} del sensor magnético se determina sobre el intervalo de temperatura [300K, 350K] como una curva de ajuste a partir de una parte inferior del perfil de tensión 522, siendo esta parte inferior del perfil de tensión 522 correspondiente a un intervalo predeterminado de la propiedad física, que tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación predeterminado. Por ejemplo, el intervalo de temperatura más bajo es [300 K, 320 K].

25 **[0141]** De acuerdo con la figura 10, una evolución perfil de tensión (552) de la tensión de campo de dispersión V_{stray} frente a la temperatura ambiente T se muestra en un marco de representación (550).

30 **[0142]** La evolución del perfil de tensión (552) de la tensión del campo de dispersión V_{stray} se deriva de sustraer la curva V_{drift} de deriva de tensión (524) a la tensión efectiva V_{eff} (522).

[0143] La sustracción se realiza mediante la unidad de unidad de proceso (22) en el paso (508) del procedimiento de detección (500).

35 **[0144]** El marco de representación (550) comprende un eje de ordenadas (554) de la tensión del campo de dispersión V_{stray} expresado mV y un eje de abscisas (556) del eje de la temperatura ambiente expresado en grados Kelvin.

40 **[0145]** El perfil de tensión (552) presenta un bucle de histéresis (560) que tiene una parte curva inferior (562) en la dirección de calentamiento (564) y una parte curva superior (566) en la dirección de enfriamiento (568).

[0146] Este bucle de histéresis (560) es una firma magnética de la transición de las partículas con transición de espín.

45 **[0147]** Las temperaturas de transición son recogidas en el medio ocho de las curvas de histéresis del bucle de histéresis (560).

[0148] Con el dimensionado y el rendimiento del primer sensor magnético (4) como se ha descrito aquí anteriormente, y con un diámetro medio de 250 nm para las partículas con transición de espín, el campo magnético mínimo que se puede detectar por el sensor magnético es igual a 10 nT.

50 **[0149]** A medida que la capacidad de detección del magnetómetro (2) depende de la zona del sensor, se espera que dimensionando el sensor magnético a 500 nm, una partícula magnética individual deducirá una cantidad de 25 nV. Esto hace posible detectar la firma magnética de una partícula individual con transición de espín a temperatura ambiente.

55 **[0150]** Mediante la integración de un amplificador en las inmediaciones del sensor magnético o cerca de los dos sensores magnéticos en la configuración diferencial, se puede detectar un campo magnético hasta un solo picotesla

(10^{-12} T).

[0151] En general, la anchura de un brazo del anillo sensor está comprendida entre la escala nanométrica y la escala micrométrica y el tamaño efectivo de la magnetometría está comprendido entre 50 nm y 1 mm.

5

[0152] De acuerdo con la figura 11, se lleva a cabo una segunda realización de un procedimiento de detección por micromagnetometría (600) para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas.

[0153] Este procedimiento (600) es aplicable a cualesquiera partículas magnéticas que son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación. Tales partículas magnéticas son cualesquiera nanopartículas moleculares conmutables en forma de $A_n B_k [M(CN)_6]_l \cdot m H_2 O$, donde A puede ser Co, Ni, Fe, etc, B y M pueden ser diversos metales de transición (Fe^{II} , Fe^{III} , Mn^{II} , Mn^{III} , fml a Co^{II} , Co^{III} , ...) y C es un catión de metal alcalino.

[0154] Este procedimiento también es aplicable a cualesquiera partículas paramagnéticas tales como Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $Fe@Fe_3O_4$, $CoFe@Fe_3O_4$, Ni, a cualesquiera partículas ferromagnéticas tales como Fe, CoFe, Ni, a cualesquiera de las partículas antiferromagnéticas es decir, cualesquiera partículas con estructura multicapa Ti/Fe, Cr, NiO, Co_3O_4 , $\alpha-Fe_2O_3$, CuO, MnO, nanopartículas de Cr_2O_3 , y a cualquiera microesfera magnética hecha de Fe_3O_4 con la matriz de polímero en forma de esfera y de cualquier tamaño desde 50 nm a 10 micras.

20

[0155] El procedimiento de detección por micromagnetometría (600) para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas se realiza con un sistema de micromagnetometría como se define en las figuras 1, 6 y 7.

[0156] El procedimiento de detección por micromagnetometría (600) comprende los pasos siguientes ejecutados sucesivamente.

[0157] En un primer paso (602), bajo unas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas, cuando el sistema comprende un primer sensor magnético (4) individual el primer sensor magnético es, o cuando el sistema magnetometría comprende un primer sensor magnético (4) y un segundo sensor magnético (404) el conjunto del primero y segundo sensor magnético se calibran en temperatura de la temperatura y se proporciona una primera curva de calibración del ruido térmico de fondo.

[0158] En un paso siguiente (604), una cantidad desconocida de partículas magnéticas (12) se deposita sobre el primer sensor magnético (4).

[0159] A continuación, en un paso siguiente (606), bajo las mismas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas, variando la temperatura en un intervalo de temperatura predeterminado, cuando el sistema de magnetometría (2, 302) comprende un primer sensor magnético (4) individual, se emite una segunda curva como la evolución de las mediciones de tensión diferencial llevadas a cabo por el primer sensor frente a la temperatura, o cuando el sistema de magnetometría (402) comprende un primer sensor magnético (4) y un segundo sensor magnético (404), se emiten un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial llevadas a cabo por el primer sensor (4) que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial llevadas a cabo por el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo. En el mismo paso (506) se determina una segunda curva como la evolución frente a la temperatura de la diferencia entre el primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial.

[0160] En un paso siguiente 608, se determina una tercera curva como la diferencia frente a la temperatura entre las tensiones diferenciales de la segunda curva y las tensiones diferenciales de la tercera curva dentro del mismo intervalo de temperatura. **[0161]** A continuación, en un paso siguiente 610, se detecta la presencia de partículas magnéticas cuando el valor absoluto de las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene estable por encima de un umbral de detección predeterminado o, la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

55

[0161] A continuación, en un paso siguiente (610), se detecta la presencia de partículas magnéticas cuando el valor absoluto de las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene estable por encima de un umbral de detección predeterminado o, la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección

predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

[0162] De acuerdo con la figura 12, se muestra un ejemplo de un primer perfil de calibración del ruido térmico de fondo (650).

5

[0163] Esta calibración del primer sensor magnético (4) o el conjunto del primero y segundo sensor magnético (4, 44) se realiza en el paso (602) del procedimiento de detección (600).

[0164] Durante este paso de calibración térmica se descarga el primer sensor magnético (4), es decir, sin partículas magnéticas depositadas en el mismo y la temperatura se varía en la temperatura una vez aumentando la temperatura y una vez disminuyendo la temperatura.

10

[0165] El perfil (650) comprende una primera curva (652) que se corresponde con una dirección de calentamiento y una segunda curva (654) que se corresponde con una dirección de enfriamiento. Estas curvas son idénticas y el perfil de calibración (650) no presenta ninguna ciclo de histéresis.

15

[0166] De acuerdo con la figura 13, se muestran un conjunto de dos ciclos o bucles de histéresis diferentes (672, 674) con sus temperaturas de transición correspondientes para las mismas partículas con transición de espín detectadas bajo dos condiciones de humedad diferentes, 80% y 60% respectivamente.

20

[0167] Estos dos ciclos de histéresis (672, 674) se muestran en un marco de representación (670) que comprende un eje de ordenadas (676) de la tensión de salida normalizada a una tensión superior y una tensión inferior del ciclo de histéresis y un eje de abscisas (678) del eje de la temperatura ambiente expresada en grado Kelvin.

[0168] El bucle de histéresis (672) correspondiente a 80% de humedad presenta una primera temperatura de transición (680) y una segunda temperatura de transición (682).

25

[0169] El bucle de histéresis (674) correspondiente a 60% de humedad presenta una primera temperatura de transición (692) y una segunda temperatura de transición (694).

30

[0170] Se puede observar aquí que las temperaturas de transición, así como la anchura de un bucle de histéresis se pueden utilizar para estimar el grado de humedad.

[0171] Tal comportamiento es por lo tanto explotado para construir un sistema de medición de la humedad que comprende un sistema de sistema de micromagnetometría como se describe en las figuras 1, 6, y 7, donde las partículas son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación por temperatura predeterminado y sensibles al grado de humedad, el umbral de conmutación por temperatura predeterminado o una anchura de un bucle de histéresis que depende del grado de humedad del ambiente.

35

[0172] La unidad de proceso está configurada para determinar el grado de humedad a partir de mediciones del cambio magnético de las partículas magnéticas y una curva gráfica determinada previamente entre grados de humedad calibrados medidos con otro procedimiento de medición de la humedad y una correspondiente transición de la temperatura o anchura del ciclo de histéresis medidos con el procedimiento de micromagnetometría que se describe en la figura 8 o la figura 11.

40

[0173] De hecho, con la combinación del procedimiento de magnetometría de la figura 8 o la figura 11 y la transición de espín, el sistema se puede utilizar como un sensor de gas para la detección de gas. Cualquier gas externo que afecta el sistema como la humedad también desplaza las curvas de transición de espín como una función de la concentración de gas en el ambiente.

45

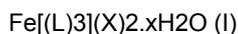
[0174] Por lo tanto se puede utilizar cualesquiera nanopartículas moleculares que son conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación por temperatura predeterminado, siendo este umbral de conmutación por temperatura predeterminado dependiente de la concentración en el ambiente de vapor de moléculas externas.

[0175] En tal caso, la unidad de proceso está configurada para determinar la concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas a partir de mediciones del cambio magnético de partículas magnéticas que son sensibles a la concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas, y a partir de una curva gráfica determinada previamente entre una concentración en el ambiente calibrada de vapor de moléculas externas medido con otro procedimiento y un parámetro correspondiente tal como un umbral de temperatura, una temperatura de transición, o

55

una anchura de un bucle de histéresis determinado a través de un cambio en la propiedad magnética de las partículas magnéticas detectadas por el procedimiento de micromagnetometría que se describe en la figura 8 o la figura 11.

- 5 **[0176]** El vapor de moléculas externas o el gas que se puede detectar son por ejemplo los siguientes:
 N₂, He, I₂, CO₂, etanol, metanol, 2-propanol, acetona, D₂O, CS₂, CO, yodo (I), bromo (Br), cloro (Cl), benceno, tolueno, clorobenceno, bromobenceno, yodobenceno, diclorobenceno, triclorobenceno, pirazina, piridina, pirrol, tiofeno, furano, THF.
- 10 **[0177]** El procedimiento de detección (600) descrito anteriormente en la figura 11 se puede utilizar para detectar las partículas siguientes:
- Cualesquiera nanopartículas moleculares conmutables en forma de A_nB_k[M(CN)₆]_l.mH₂O, donde A puede ser Co, Ni, Fe, etc, B y M pueden ser diversos metales de transición (Fe^{II}, Fe^{III}, Mn^{II}, Mn^{III}, fml aCo^{II}, Co^{III}, ...) y C es un catión de metal alcalino;
 - Cualesquiera partículas paramagnéticas: Fe₂O₃, Fe₃O₄, Fe@Fe₃O₄, CoFe@Fe₃O₄, Ni, ... ;
 - 20 - Cualesquiera partículas ferromagnéticas: Fe, CoFe, Ni;
 - Cualesquiera partículas antiferromagnéticas;
 - Cualesquiera partículas con estructura multicapa de Ti/Fe, Cr, NiO, Co₃O₄, α-Fe₂O₃, CuO, MnO, nanopartículas de 25 Cr₂O₃;
 - Cualquiera microesfera magnética hecha de Fe₃O₄ con la matriz de polímero en forma de esfera y de cualquier tamaño desde 50 nm a 10 micras.
- 30 **[0178]** Este sistema se puede ser utilizar para detectar una variación de la magnetización (conmutación de la magnetización) de todos los materiales magnéticos (paramagnético, diamagnético, ferromagnético, antiferromagnético, ferrimagnético) en diferentes formas (materiales en forma de polvos microcristalinos, nanopartículas, en capa fina, etc.) y a cualquier temperatura. Como ejemplos representativos, se pueden citar los siguientes: materiales metálicos, óxidos metálicos, elementos poco comunes de la tierra, complejos organometálicos, 35 complejos de coordinación (moléculas magnéticas, cadenas de imán y, en particular, materiales con transición de espín, transferencia de materiales de carga, etc.
- Metales, óxidos metálicos
- 40 **[0179]** Como derivados de metales representativos, se pueden citar los compuestos siguientes tales como Co, Ni, Fe, etc., así como aleaciones AB, con A = Co, Ni, Fe, etc., y B = Pt, Fe, etc.
- [0180]** Como derivados de óxidos metálicos representativos, se pueden citar los siguientes: FeO, Fe₂O₃, CuO, ZnO, etc.
- 45 Compuestos magnéticos y complejos moleculares
- [0181]** Como compuestos magnéticos y complejos moleculares representativos se pueden citar moléculas imán (Mn₁₂, etc.), cadenas imán (compuestos homopolinucleares y heteropolinucleares), etc.
- 50 **[0182]** Como compuestos magnéticos heteropolinucleares, se puede citar el azul de prusia y sus análogos de la fórmula general M_x[M'(CN)₆]_y.nH₂O y A_xM_y[M'(CN)₆]. nH₂O donde A representa un catión alcalino y M y M' representan cationes de metales de transición divalentes o trivalentes tales como Fe₄[Fe(CN)₆]₃.15H₂O, CsNi[Cr(CN)₆], etc.
- 55 **[0183]** Como materiales con transición de espín se pueden citar complejos de hierro, en particular, de la fórmula (I):



en la cual:

- 5 - L representa un ligando tal como trz (triazol), NH_2trz , Fatrz ((4-formilamino-1, 2, 4-triazol), Hptrz (heptiltriazol), etc.;
- X representa un contraión aniónico tal como OTf (triflato o trifluorometanosulfonato), p-tol o tof (p-tolilsulfonato o tosilato), tetrafluoroborato, nitrato, Br, Cl, etc.;
- 10 - X es un número entero comprendido entre 0 y 10.

[0184] Como materiales con transición de espín alternativos, se pueden citar los derivados de la fórmula general (II):



donde:

- M representa un metal tal como Ni o Co;
- 20 - M 'representa un metal, idéntico o diferente de M, seleccionado entre Ni, Pd, Pt, etc.;
- L representa un ligando monodente o bidente tales como pirazina (pz), azopiridina (azpy), bis (4-piridil) acetileno (bpac), etc.;
- 25 - y está estrictamente comprendido entre 0 y 1, siendo diferente de 0 y de 1.

[0185] Como compuestos de transferencia de carga, se pueden citar los derivados formados por pares de donantes/aceptadores tales como el compuesto de fórmula $[\text{Fe}(\text{Cp}^*)_2][\text{TCNE}]$ (TCNE = tetracianoetileno), $[\text{Mn}(\text{Cp}^*)_2][\text{TCNQ}]$ (TCNQ = tetracianoquinodimetano), etc.

[0186] Otros materiales de transferencia de carga de acuerdo con la invención también incluyen los análogos de azul de Prusia de la fórmula general $\text{A}_x\text{M}_y\text{M}'(\text{CN})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ siendo A un catión alcalino y M y M 'representan cationes de metales de transición divalentes o trivalentes tales como $\text{Na}_x\text{Co}_y\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, etc.

[0187] El procedimiento de detección (500) descrito anteriormente en la figura 8 se puede utilizar para detectar cualesquiera nanopartículas moleculares conmutables como se ha descrito anteriormente.

[0188] En una variante la corriente inyectada por la primera fuente de corriente que pasa a través de los terminales de corriente es una suma de una corriente continua (CC) y corriente alterna (CA).

[0189] Generalmente, la pista magnética es una estructura bicapa que incluye una película ferromagnética y una película antiferromagnética, o una estructura con válvula de espín, o una estructura tricapa que incluye una película ferromagnética, un metal y una película antiferromagnética.

[0190] En una variante del sistema de micromagnetometría (402) de la figura 7, el primero y segundo sensores magnéticos multianillo híbridos AMR/PHR (4, 404) se sustituyen por sensores magnéticos que tienen una misma estructura magnética y una misma forma entre una forma de cruz o un anillo individual en forma de circuito cerrado.

[0191] El primero y el segundo sensores magnéticos con una misma forma entre una forma de cruz o un anillo individual en forma de circuito cerrado se colocan de manera que sus respectivos ejes fáciles, son colineales en términos de dirección, es decir, son paralelos entre sí.

[0192] El primero y el segundo sensores magnéticos (4, 404) se colocan lo más cerca posible del mismo sustrato bajo las mismas condiciones físicas conocidas de manera que se recibe y se detecta la misma respuesta magnética y de temperatura con el mismo ruido cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores.

[0193] El primer terminal de corriente y el segundo terminal de corriente del segundo sensor magnético se conectan respectivamente al primer terminal de corriente y al segundo terminal de corriente del primer sensor

magnético.

[0194] De este modo, la primera fuente de corriente suministra en paralelo al primer sensor magnético y al segundo sensor magnético la corriente respectiva con las mismas características de ruido.

5

[0195] La estructura del dispositivo de medición de la tensión modificado sigue siendo la misma y el dispositivo de medición de la tensión modificado se configura para determinar la tensión de diferencia entre la tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión del primer sensor magnético y la tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión del segundo sensor magnético.

10

[0196] De este modo las fuentes de ruidos comunes a los dos sensores magnéticos se cancelan.

[0197] En cuanto al sistema de micromagnetometría (402) de la figura 7, el medio (20) para crear el campo de excitación magnética H_{AC} externo al primer sensor magnético (4) se puede retirar y sustituirse por un conjunto formado por el primer sensor magnético, el segundo sensor magnético y una primera fuente de corriente modificada que genera un corriente alterna entre el primero y segundo terminales de corriente del primer sensor magnético, y entre el primero y segundo terminales de corriente del segundo sensor magnético.

15

[0198] De hecho, todas las variantes descritas para un sistema de magnetometría que utilizan uno o dos sensores magnéticos multianillo como se han descrito aquí anteriormente en términos de polarización por corriente y medio para crear un campo magnético externo, se pueden utilizar para un sistema de magnetometría usando dos sensores magnéticos que tengan una misma forma entre una forma de cruz o un anillo individual en forma de circuito cerrado y conectados entre sí de manera diferenciada.

20

[0199] También se pueden utilizar los mismos procedimientos de detección como se describen en las figuras 5 y 8.

25

[0200] Un ejemplo de dicha variante del sistema de micromagnetometría (702) se ilustra parcialmente en la figura 14 donde los dos sensores magnéticos multianillo (4, 404) de la figura 7 se sustituyen por dos sensores magnéticos en forma de cruz (706, 726).

30

[0201] El primero y el segundo sensores magnéticos (706, 726) con la misma forma de cruz se colocan cerca uno del otro en el mismo sustrato bajo las mismas condiciones físicas conocidas de manera que, se recibe y se detecta con el mismo ruido el mismo campo magnético cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores.

35

[0202] El primero y el segundo sensores magnéticos (706, 726) se colocan de manera que sus respectivos ejes fáciles son colineales en términos de dirección, es decir, son paralelos entre sí.

[0203] En una variante, cuando el sistema de micromagnetometría usado comprende un primero y un segundo sensores magnéticos multianillo híbridos AMR/PHR (4, 404) como se describen en la figura 7, o comprende dos sensores magnéticos que tienen una misma estructura magnética y una misma forma entre una forma de cruz o un anillo individual en forma de circuito cerrado, se puede utilizar un procedimiento de detección directa.

40

[0204] Tal procedimiento de detección directa por micromagnetometría se utiliza para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a escala microscópica o nanoscópica.

45

[0205] Un procedimiento de detección directa por micromagnetometría de acuerdo con una primera realización comprende los pasos siguientes.

50

[0206] Después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas o un objeto magnético sobre el primer sensor magnético, en un primer paso, bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas, se emiten una primera medición de la tensión realizada con el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo.

55

[0207] En un segundo paso, se determina una primera diferencia entre la primera medición de la tensión y la segunda medición de la tensión.

[0208] En un tercer paso, se detecta la presencia de partículas magnéticas o un objeto magnético cuando una

segunda diferencia como la diferencia entre una primera diferencia y una diferencia de referencia tiene una amplitud mayor que un umbral de detección predeterminado, siendo la diferencia de referencia la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada por el primer sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, bajo las mismas condiciones físicas predeterminadas conocidas, y siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10nT.

5
10 **[0209]** Un procedimiento de detección directa por micromagnetometría de acuerdo con una segunda realización es aplicable cuando las partículas magnéticas son nanopartículas moleculares o un objeto conmutable individual al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación.

[0210] El procedimiento de detección directa comprende los pasos siguientes.

15 **[0211]** Después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas o un objeto magnético sobre el primer sensor magnético, en un primer paso, bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas, la propiedad física de la magnitud varía a lo largo de un intervalo predeterminado de la propiedad física.

20 **[0212]** En un segundo paso realizado en paralelo con el primer paso, se emiten un primer conjunto de mediciones de la tensión realizadas con el primer sensor (4) que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión realizadas con el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo.

25 **[0213]** En un tercer paso, se determina una curva como la evolución frente a la propiedad física de la magnitud de la diferencia entre el primero conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo conjunto de mediciones de la tensión.

30 **[0214]** En un cuarto paso, se detecta la presencia de partículas magnéticas u objeto magnético cuando la curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a escala microscópica o nanoscópica que comprende:
- un primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (4) que tiene una superficie activa (14) que incluye una pista magnética (14) en forma de circuito cerrado depositada sobre un sustrato (26), un primer terminal de corriente (28) y un segundo terminal de corriente 30 que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética en circuito cerrado (24) hecha de un material magnético, un primer terminal de tensión (32) y un segundo terminal de tensión (34) que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética en circuito cerrado (24) y de la que se detecta una salida de tensión diferencial V_b , un primer eje (40) que pasa por el primero y segundo terminales de corriente (28, 30) en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material de la pista y perpendicular a un segundo eje (42) que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión;
 - una primera fuente de corriente o de tensión (6) conectada entre el primero y segundo terminales de corriente (28, 30) para inyectar una corriente I a través del mismo;
 - un primer dispositivo de medición de la tensión (8) conectado entre el primero y segundo terminales de tensión (32,34) para medir la tensión diferencial V_b entre el par de terminales de tensión (32,34);
 - un conjunto de al menos una partícula magnética (12) depositada en la superficie activa (14) del primer sensor magnético (4);
 - una unidad de proceso (22) para detectar, a partir de un conjunto de diferentes tensiones diferenciales medidas, un cambio de flujo magnético representativo de la presencia de al menos una partícula magnética (12) depositada; la pista magnética (24) del primer sensor magnético multianillo AMR/PHR (4) que tiene:
 - un primer brazo (102) hecho de un primer conjunto de un número de anillos predeterminado m de trayectorias sinuosas circulares 104 delimitadas dentro de un primer cuadrante de la superficie (126) del sensor magnético (4), estando la trayectoria sinuosa más exterior (128) conectada al primer terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior 110 conectada al primer terminal de tensión (32),
 - un segundo brazo (112) hecho de un segundo conjunto del mismo número predeterminado m de trayectorias sinuosas circulares 114 delimitadas dentro de un segundo cuadrante de la superficie 116 del sensor magnético 4, estando la trayectoria sinuosa más exterior (118) conectada al segundo terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior (120) conectada al primer terminal de tensión (32),
 - un tercer brazo (122) hecho de un tercer conjunto del mismo número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares 124 delimitadas dentro de un tercer cuadrante de la superficie (126) del sensor magnético (4), estando la trayectoria sinuosa más exterior (128) conectada al segundo terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior (130) conectada al segundo terminal de tensión (34),
 - un cuarto brazo (132) hecho de un cuarto conjunto del mismo número de anillos m de trayectorias sinuosas circulares (134) delimitadas dentro de un cuarto cuadrante de la superficie (136) del sensor magnético (4), estando la trayectoria sinuosa más exterior (138) conectada al primer terminal de corriente (30) y la trayectoria sinuosa más interior (140) conectada al segundo terminal de tensión (34);
 - la pista magnética (24) es una estructura bicapa que incluye una película ferromagnética y una película antiferromagnética, o una estructura de válvula de espín, o una estructura tricapa que incluye una película ferromagnética, un metal y una película antiferromagnética;
- caracterizado porque
- el sistema de micromagnetometría comprende medios (20) para crear un campo de excitación magnética H_{AC} que hace producir a cada partícula magnética un campo magnético de dispersión, siendo este campo de excitación magnética H_{AC} oscilante a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w de 10 a 3 KHz; y

- las partículas magnéticas (12) a ser detectadas son inmóviles y se colocan cerca o en contacto con la superficie activa (14) de la pista magnética (24); y

5 - la corriente I inyectada por la primera fuente de corriente o tensión (6) que pasa a través de los terminales de corriente (28, 30) es una corriente continua (CC) o una corriente alterna (CA), o una suma de una corriente continua y alterna; y

- la unidad de proceso (22) está configurada o bien para

10

proporcionar una primera curva de calibración de una respuesta magnética térmica del fondo del primer sensor magnético (4) sin partículas magnéticas depositadas en el mismo, en un rango de temperatura predeterminado, bajo unas primeras condiciones físicas y ambientales predeterminadas conocidas, y según un primer conjunto de condiciones de funcionamiento del sistema conocidas en términos de la corriente inyectada por la primera fuente de corriente o de tensión (6) y del campo de excitación magnética H_{AC} aplicada; a continuación,

15

a continuación, después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas (12) en el primer sensor magnético (4), determinar una segunda curva de evolución frente a la temperatura de las mediciones de tensión diferencial corregidas o no a partir de un conjunto de mediciones de tensión diferencial emitidas desde el primer sensor magnético (4) y llevadas a cabo variando la temperatura en el mismo intervalo de temperatura predeterminado, según las mismas primeras condiciones físicas y ambientales predeterminadas conocidas y según el mismo primer conjunto de condiciones de funcionamiento del sistema conocidas, a continuación,

20

determinar una tercera curva como la diferencia la segunda curva y la primera curva en el mismo intervalo de temperatura;

25

y

detectar la presencia de al menos una partícula magnética cuando el valor absoluto de todas las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene estable por encima de un umbral de detección predeterminado o, cuando la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT;

30

o,

después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas (12) en el primer sensor magnético (4), las partículas magnéticas que son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, al variar la magnitud de la propiedad física en un intervalo predeterminado de la propiedad física bajo unas condiciones físicas conocidas predeterminadas y bajo unas condiciones de funcionamiento del sistema conocidas, para determinar una primera curva de la evolución de las mediciones de tensión diferencia corregidas o no a partir de la evolución de las mediciones de tensión diferencial llevadas a cabo con el primer sensor magnético (4) frente a la magnitud de la propiedad física; a continuación,

35

40

para determinar en el intervalo predeterminado de la magnitud de la propiedad física de una segunda curva como una curva de ajuste desde una parte inferior de la primera curva, donde esta parte inferior de la primera curva se corresponde con un intervalo inferior incluido dentro del intervalo predeterminado de la propiedad física, donde el intervalo inferior tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación predeterminado; a continuación,

45

para determinar una tercera curva como la diferencia frente a la magnitud de la propiedad física de la conmutación entre las tensiones diferenciales de la primera curva y las tensiones diferenciales de la segunda curva en el mismo intervalo de magnitud de la propiedad física; y

50

para detectar la presencia de partículas magnéticas cuando la tercera curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, donde el umbral de detección predeterminado se corresponde con un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

55

2. Un sistema de micromagnetometría de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende un primer sensor de temperatura ambiente (4) para medir una temperatura ambiente y/o un segundo sensor de ambiente para medir

una propiedad física diferente de la temperatura ambiente colocado cerca de la superficie activa (14) del primer sensor activo (4), donde la conmutación de la magnetización de las partículas magnéticas actúa cuando la temperatura o la propiedad física diferente de la temperatura está por encima o por debajo de un umbral de conmutación predeterminado.

5

3. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende un medio (18) para controlar y/o regular la temperatura ambiente y/o las propiedades físicas del ambiente diferentes de la temperatura.

4. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde

10

el medio (20) para crear un campo de excitación magnética H_{AC} comprende una segunda fuente de corriente (52) que suministra una corriente CA y al menos una bobina (54) conectada a la segunda fuente de corriente CA (52), donde al menos la bobina (54) está colocada en relación con el primer sensor magnético (4) de manera que el campo de excitación magnética H_{AC} tiene un principal componente colineal con el primer eje (40).

15

5. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con la reivindicación 4 que comprende un medio (21) para crear de un campo de polarización del sensor magnético H_{DC} para desplazar el punto de funcionamiento del primer sensor magnético (4) a una región con más sensibilidad, siendo el campo de polarización del sensor magnético H_{DC} constante a lo largo del tiempo, y siendo colineal con el campo de excitación magnética H_{AC} creado por el medio (20) para crear un campo de excitación magnética H_{AC} .

20

6. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con la reivindicación 5 donde el ángulo α formado entre el primer eje que pasa por el primero y segundo terminales de corriente (28, 30) y el eje del campo de polarización del sensor magnético H_{DC} se selecciona en el rango [0 grados, 90 grados] de modo que la sensibilidad del sensor magnético es máxima, y preferiblemente está comprendida dentro del intervalo [15 grados, 25 grados].

25

7. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde el medio (20) para crear un campo de excitación magnética H_{AC} es la fuente de corriente o de tensión (326) conectada entre el primero y segundo terminales de corriente (28, 30), siendo la fuente de corriente o de tensión configurada para generar una corriente alterna (CA) que oscila a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w que va de 10 Hz a 3 KHz, preferiblemente de 50 Hz a 150 Hz.

30

8. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 que comprende además un segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (404) que tiene la misma estructura que el primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (4),

35

el primero y segundo sensores magnéticos híbridos AMR/PHR (4, 404) se colocan cerca uno del otro en el mismo sustrato bajo las mismas condiciones físicas conocidas para medir el mismo campo magnético cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores (4, 414),

40

el segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (404) tiene un primer terminal de corriente (428) y un segundo terminal de corriente (430) que forman un par de terminales de corriente conectados en paralelo y que comparten la misma primera fuente de corriente (326) del primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (4);

45 y donde

el sistema de micromagnetometría está configurado

para diferenciar un primer conjunto de mediciones de la tensión diferencial realizadas por el primer sensor (4) correspondiente a una primera configuración donde, las partículas magnéticas a detectar si están contenidas en la solución vertida, se depositan en el primer sensor magnético (4) y se colocan bajo un conjunto conocido de condiciones ambientales y parámetros del funcionamiento del sistema, y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial de referencia emitidas por el segundo sensor (404) correspondiente a una segunda configuración donde no hay partículas magnéticas depositadas en el mismo, bajo el mismo conjunto conocido de condiciones físicas y ambientales y parámetros de funcionamiento del sistema y para proporcionar una curva diferencial correspondiente; y, a continuación,

50

para detectar a partir de la curva diferencial una variación brusca correspondiente al menos a un cambio de campo de magnetización mínimo de 10nT.

55

9. Sistema de micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a escala microscópica o nanoscópica que comprende:

5

- un primer sensor magnético híbrido AMR/PHR (4) y un segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (404),

10 un primer sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (4) que tiene una superficie activa (14) que incluye una pista magnética (14) depositada sobre un sustrato (426), un primer terminal de corriente (28) y un segundo terminal de corriente (30) que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la pista magnética (24) hecha de un material magnético, un primer terminal de tensión (32) y un segundo terminal de tensión (34) que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la primera pista magnética (24) y de la que se detecta una salida de tensión diferencial, un primer eje (40) que pasa por el primero y
15 segundo terminales de corriente (28, 30) en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material de la pista y perpendicular a un segundo eje (42) que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión;

caracterizado porque

20

el sistema de micromagnetometría comprende un segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR (404) colocado cerca del segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR (404) sobre el mismo sustrato(426) bajo las mismas condiciones físicas conocidas para medir el mismo campo magnético cuando no hay partículas magnéticas depositadas sobre los sensores (4,414), siendo que este segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR (404) tiene una segunda superficie
25 activa que incluye una segunda pista magnética depositada sobre el mismo sustrato (426), un primer terminal de corriente (428) y un segundo terminal de corriente (430) que forman un par de terminales de corriente que están enfrente uno de otro en contacto con la segunda pista magnética hecha de un material magnético, un primer terminal de tensión (432) y un segundo terminal de tensión (434) que forman un par de terminales de tensión que están enfrente uno de otro en contacto con la segunda pista magnética y de la que se detecta una tensión diferencial de salida, un
30 primer eje (440) que pasa por el primero y segundo terminales de corriente (428, 430) en paralelo a la dirección del campo de polarización por intercambio del material de la pista y perpendicular a un segundo eje (442) que pasa a través del primero y segundo terminales de tensión,

35 la primera y segunda pistas magnéticas que tienen una misma forma entre una forma de cruz, un anillo individual en forma de circuito cerrado y un multianillo en forma de circuito cerrado, y que tienen una misma estructura de capas,

la estructura de capas de la primera y segunda pistas magnéticas es una estructura bicapa que incluye una película ferromagnética y una película antiferromagnética, o una estructura de válvula de espín, o una estructura tricapa que incluye una película ferromagnética, un metal y una película antiferromagnética;

40

y porque el sistema de micromagnetometría comprende:

- una misma primera fuente de corriente o tensión (6) que está conectada y suministra en paralelo una corriente I al primer sensor magnético híbrido AMR/PHR (4) y al segundo sensor multianillo magnético híbrido AMR/PHR (404),

45

- un primer dispositivo de medición de la tensión (8) conectado en su entrada al primero y segundo terminales de tensión (32, 34, 432, 434) del primer sensor magnético híbrido AMR/PHR (4) y al segundo sensor magnético híbrido AMR/PHR (404), y configurado para determinar la tensión diferencial entre una tensión diferencial amplificada detectada en los terminales de tensión (32, 34) del primer sensor magnético (4) y una tensión diferencial amplificada
50 detectada en los terminales de tensión (432, 434) del segundo sensor magnético (404);

- un conjunto de al menos una partícula magnética (12) depositada en la superficie activa (14) del primer sensor magnético (4);

55 - una unidad de proceso (22) para detectar, a partir de un conjunto de diferentes tensiones diferenciales medidas emitidas por el primer dispositivo de medición de la tensión (8), un cambio de flujo magnético representativo de la presencia de al menos una partícula magnética (12) depositada en el primer sensor magnético (4);

- medio (20) para crear un campo de excitación magnética H_{AC} que hace producir a cada partícula magnética un campo

magnético de dispersión, siendo este campo de excitación magnética H_{AC} oscilante a lo largo del tiempo a una frecuencia constante w de 10 a 3 KHz; y porque

- las partículas magnéticas (12) o el objeto magnético a detectar son inmóviles y colocados cerca o en contacto con la superficie activa (14) de la primera pista magnética (24); y

- la corriente I inyectada por la primera fuente de corriente o tensión (6) que pasa a través de los terminales de corriente (28, 30) es una corriente continua (CC) o una corriente alterna (CA), o una suma de una corriente continua y alterna.

10 10. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con la reivindicación 9, donde

no hay partículas magnéticas u objeto magnético depositados a escala microscópica o nanoscópica en el segundo sensor (404), y la unidad de proceso (22) está configurada para

15 después de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas (12) o un objeto magnético sobre el primer sensor magnético (4), o bien

bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas,

20 detectar la presencia de partículas magnéticas o un objeto magnético cuando una segunda diferencia como la diferencia entre una primera diferencia y una diferencia de referencia tiene una amplitud mayor que un umbral de detección predeterminado, siendo la diferencia de referencia la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada por el primer sensor (4) que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada por el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo, bajo las mismas
25 condiciones físicas predeterminadas conocidas,

siendo la primera diferencia determinada por el primer dispositivo de medición de la tensión (8) como la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada con el primer sensor (4) que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada con el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas
30 en el mismo,

y el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10nT, o

35 cuando las partículas magnéticas son nanopartículas moleculares o un objeto magnético conmutable al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, bajo unas condiciones físicas conocidas predeterminadas, al variar la magnitud de la propiedad física en un intervalo predeterminado de la propiedad física,

40 determinar una curva como la evolución frente a la magnitud de la propiedad física de la diferencia entre un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y un segundo conjunto de mediciones de tensión, siendo un primer conjunto de mediciones de tensión realizadas por el primer sensor (4) que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión realizadas por el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo y, a continuación

45 detectar la presencia de partículas magnéticas u objeto magnético cuando la curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

50

11. Sistema de micromagnetometría de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde las partículas magnéticas están comprendidas en la familia de:

- Cualesquiera nanopartículas moleculares conmutables en forma de $AhBk[M(CN)_6]l.mH_2O$, donde A puede ser Co, Ni, Fe, etc, B y M pueden ser diversos metales de transición (FeII, FeIII, MnII, MnIII, fml aColl, ColII, ...) y C es un catión de metal alcalino;

- Cualesquiera partículas paramagnéticas: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , $Fe@Fe_3O_4$, $CoFe@Fe_3O_4$, Ni, ... ;

- Cualesquiera partículas ferromagnéticas: Fe, CoFe, Ni;

- Cualesquiera partículas con estructura multicapa de Ti/Fe, Cr, NiO, Co₃O₄, α-Fe₂O₃, CuO, MnO, nanopartículas de Cr₂O₃;

5

- Cualquiera microesfera magnética hecha de Fe₃O₄ con la matriz de polímero en forma de esfera y de cualquier tamaño desde 50 nm a 10 micras.

12. Procedimiento de detección por micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas realizado por un sistema de micromagnetometría como se define en cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende los pasos siguientes de, en primer lugar, calibrar en temperatura bajo unas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas el primer sensor magnético cuando el sistema comprende un primer sensor magnético, individual o el conjunto del primero y segundo sensores magnéticos cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, proporcionando una primera curva de calibración del ruido térmico de fondo; a continuación

depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas sobre el primer sensor magnético;

a continuación,

20

bajo las mismas primeras condiciones físicas predeterminadas conocidas, variando la temperatura en un intervalo de temperatura predeterminado,

cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético individual, emitir una segunda curva como la evolución de las mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor frente a la temperatura, o

25

cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, emitir un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una segunda curva como la evolución frente a la temperatura de la diferencia entre el primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo conjunto de mediciones tensión diferencial;

30

determinar una tercera curva como la diferencia frente a la temperatura entre las tensiones diferenciales de la segunda curva y las tensiones diferenciales de la tercera curva dentro del mismo intervalo de temperatura; y

35

detectar la presencia de al menos una partícula magnética cuando el valor absoluto de todas las diferencias de tensión de la tercera curva se mantiene por encima de un umbral de detección predeterminado o, cuando la tercera curva presenta un intervalo de temperatura en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

40

13. Procedimiento de detección por micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas realizado por un sistema de micromagnetometría, como se define en cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende los pasos siguientes de depositar una cantidad desconocida de partículas magnéticas sobre el primer sensor magnético, siendo las partículas magnéticas nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, a continuación

45

en un paso siguiente (504), bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas, variando la magnitud de la propiedad física durante un intervalo predeterminado de la propiedad física,

50

cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético individual, emitir una primera curva como la evolución de las mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor frente a la magnitud de la propiedad física, o cuando el sistema de magnetometría comprende un primer sensor magnético y un segundo sensor magnético, emitir un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el primer sensor que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión diferencial realizadas por el segundo sensor que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una segunda curva como la evolución frente a la propiedad física de la diferencia entre el primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y el segundo

55

conjunto de mediciones de tensión diferencial; a continuación

determinar (506) en el intervalo predeterminado de la propiedad física una segunda curva como una curva de ajuste a partir de una parte inferior de la primera curva, siendo esta parte inferior de la primera curva correspondiente a un intervalo inferior incluido dentro del intervalo predeterminado de la propiedad física, que tiene el límite superior menor que el umbral de conmutación predeterminado;

determinar (508) una tercera curva como la diferencia frente a la magnitud de la propiedad física de la conmutación entre las tensiones diferenciales de la primera curva y las tensiones diferenciales de la segunda curva dentro del mismo intervalo de magnitud de la propiedad física; y

detectar (510) la presencia de partículas magnéticas cuando la tercera curva presenta un intervalo de la propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

14. Procedimiento de detección por micromagnetometría de acuerdo con la reivindicación 13, donde la propiedad física de conmutación es la temperatura, la presión, la irradiación óptica, el campo eléctrico, el campo magnético, las moléculas químicas invitadas.

15. Procedimiento de detección por micromagnetometría para detectar la presencia de cantidades muy pequeñas de partículas magnéticas hasta una partícula magnética individual o un objeto magnético individual a escala microscópica o nanoscópica realizado por un sistema de micromagnetometría, como se define en las reivindicaciones 9 o 10, que comprende los pasos siguientes de

depositar (502) una cantidad desconocida de partículas magnéticas o un objeto magnético individual sobre el primer sensor magnético (4), a continuación

o bien

bajo unas condiciones físicas predeterminadas conocidas,

emitir una primera medición de la tensión realizada por el primer sensor (4) que tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada por el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una primera diferencia entre la primera medición de la tensión y la segunda medición de la tensión; a continuación detectar la presencia de partículas magnéticas o un objeto magnético cuando una segunda diferencia como la diferencia entre una primera diferencia y una diferencia de referencia tiene una amplitud mayor que un umbral de detección predeterminado,

siendo la diferencia de referencia la diferencia entre una primera medición de la tensión realizada con el primer sensor (4) que no tiene partículas magnéticas en el mismo y una segunda medición de la tensión realizada con el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo bajo las mismas condiciones físicas predeterminadas conocidas,

y el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10nT, o

cuando las partículas magnéticas son nanopartículas moleculares o un objeto conmutable individual al sobrepasar un umbral de conmutación predeterminado en términos de una propiedad física de la conmutación que funciona como una orden de conmutación, bajo unas condiciones físicas conocidas predeterminadas, variando la magnitud de la propiedad física en un intervalo predeterminado de la propiedad física, a continuación

emitir un primer conjunto de mediciones de tensión realizadas por el primer sensor (4) que tiene partículas magnéticas en el mismo y un segundo conjunto de mediciones de tensión realizadas por el segundo sensor (404) que no tiene partículas magnéticas en el mismo, y determinar una curva como la evolución frente a la magnitud de la propiedad física de la diferencia entre un primer conjunto de mediciones de tensión diferencial y un segundo conjunto de mediciones de tensión; a continuación

detectar la presencia de partículas magnéticas o un objeto magnético cuando la curva presenta un intervalo de la

propiedad física de la conmutación en el que se produce una transición que tiene una amplitud mayor que el umbral de detección predeterminado, siendo el umbral de detección predeterminado correspondiente a un cambio mínimo detectable en el campo de magnetización de 10 nT.

5 16. Sistema de medición de la humedad o de detección de gas que comprende un sistema de micromagnetometría, como se define en cualesquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde las partículas son nanopartículas moleculares conmutables al sobrepasar un umbral de conmutación por temperatura predeterminado, siendo el umbral de conmutación por temperatura predeterminado dependiente del grado de humedad del ambiente, o de la concentración en el ambiente de cualquier vapor de moléculas externas,

10

y donde

la unidad de proceso está configurada para determinar el grado de humedad o la concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas a partir de mediciones del cambio de campo magnético de las partículas magnéticas que
15 son sensibles al grado de humedad o la concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas, y a partir de una curva gráfica previamente determinada entre un grado de humedad calibrado o una concentración en el ambiente del vapor de moléculas externas calibrada, medido con otro procedimiento y un parámetro correspondiente tal como un umbral de temperatura, una temperatura de transición, o una anchura de un bucle de histéresis determinado a través de un cambio en la propiedad magnética de las partículas magnéticas detectadas por el procedimiento de
20 micromagnetometría de cualesquiera de las reivindicaciones 12 a 14.

17. Sistema de medición de la humedad o la detección de gas de acuerdo con la reivindicación 16, donde el vapor de moléculas externas que se puede detectar se encuentra entre las moléculas externas de la familia que consiste en N₂, He, I₂, CO₂, etanol, metanol, 2-propanol, acetona, D₂O, CS₂, CO, yodo (I), bromo (Br), cloro (Cl),
25 benceno, tolueno, clorobenceno, bromobenceno, yodobenceno, diclorobenceno, triclorobenceno, pirazina, piridina, pirrol, tiofeno, furano, THF.

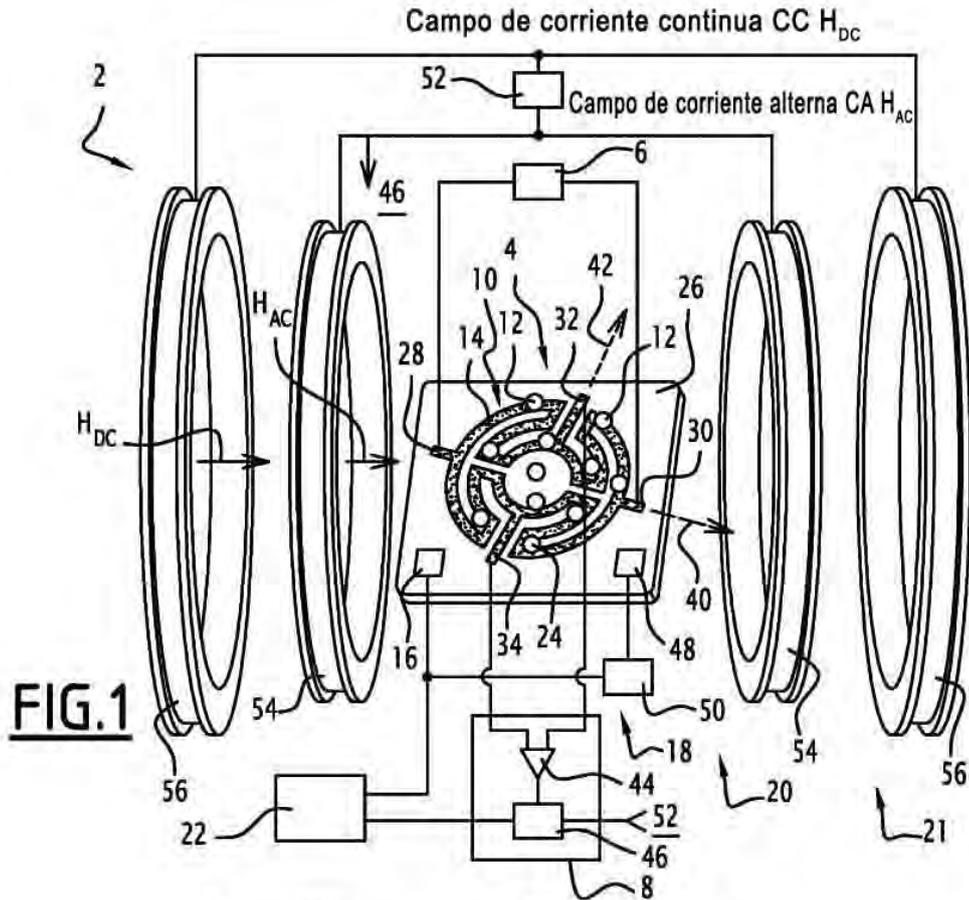


FIG. 1

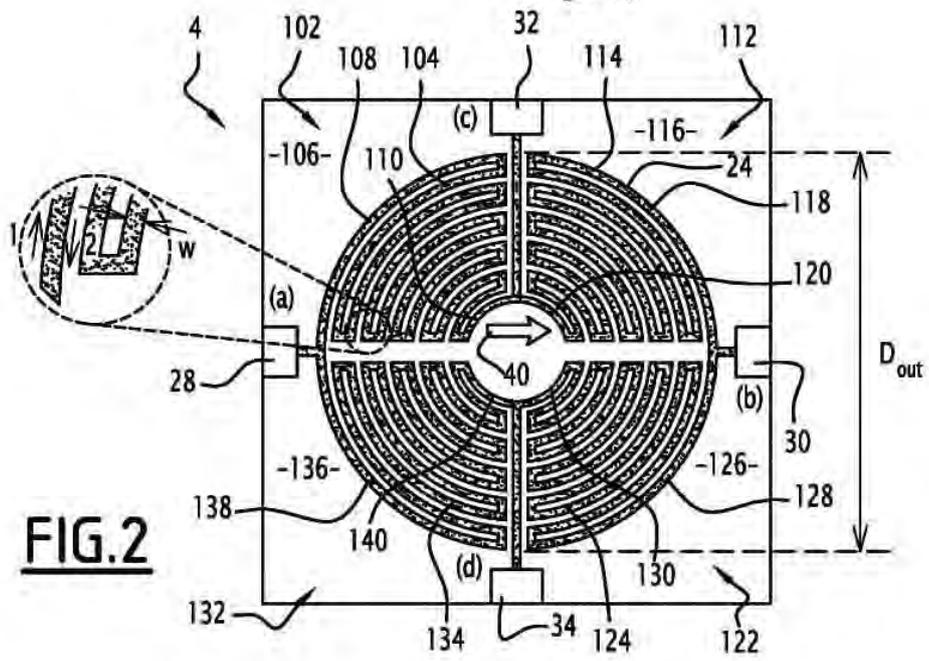
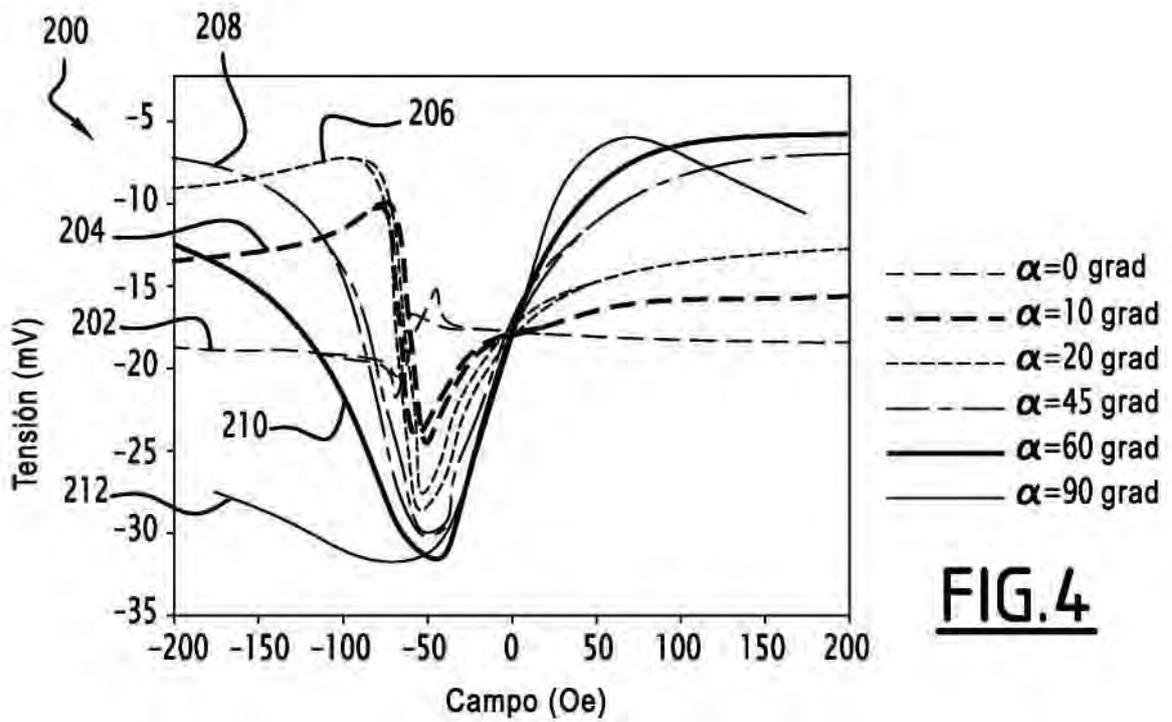
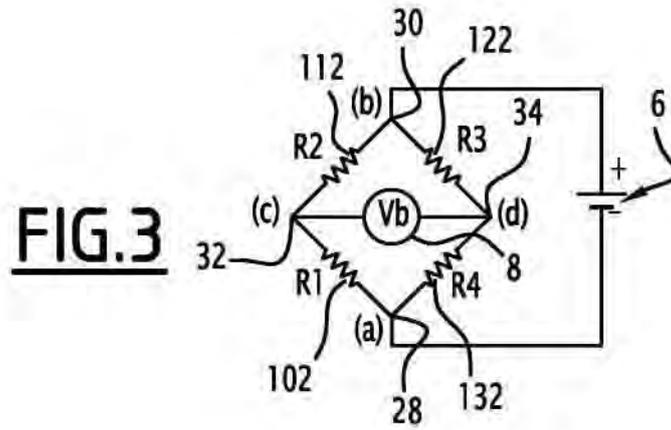


FIG. 2



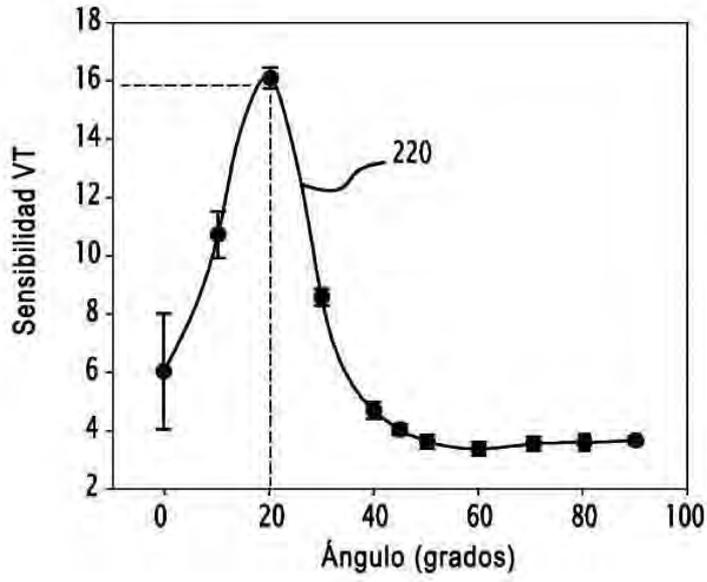
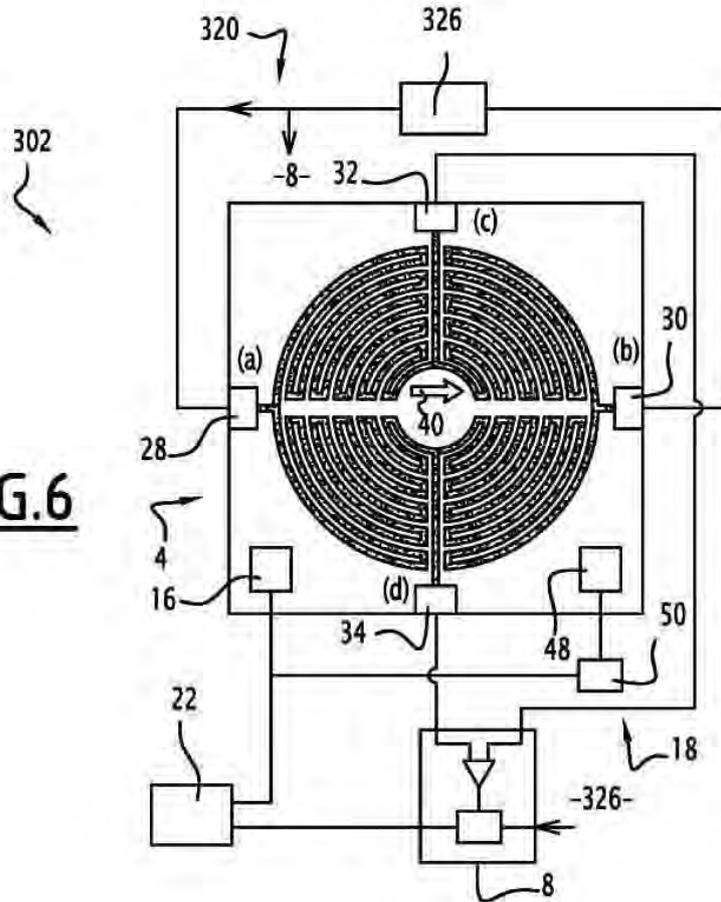


FIG.5

FIG.6



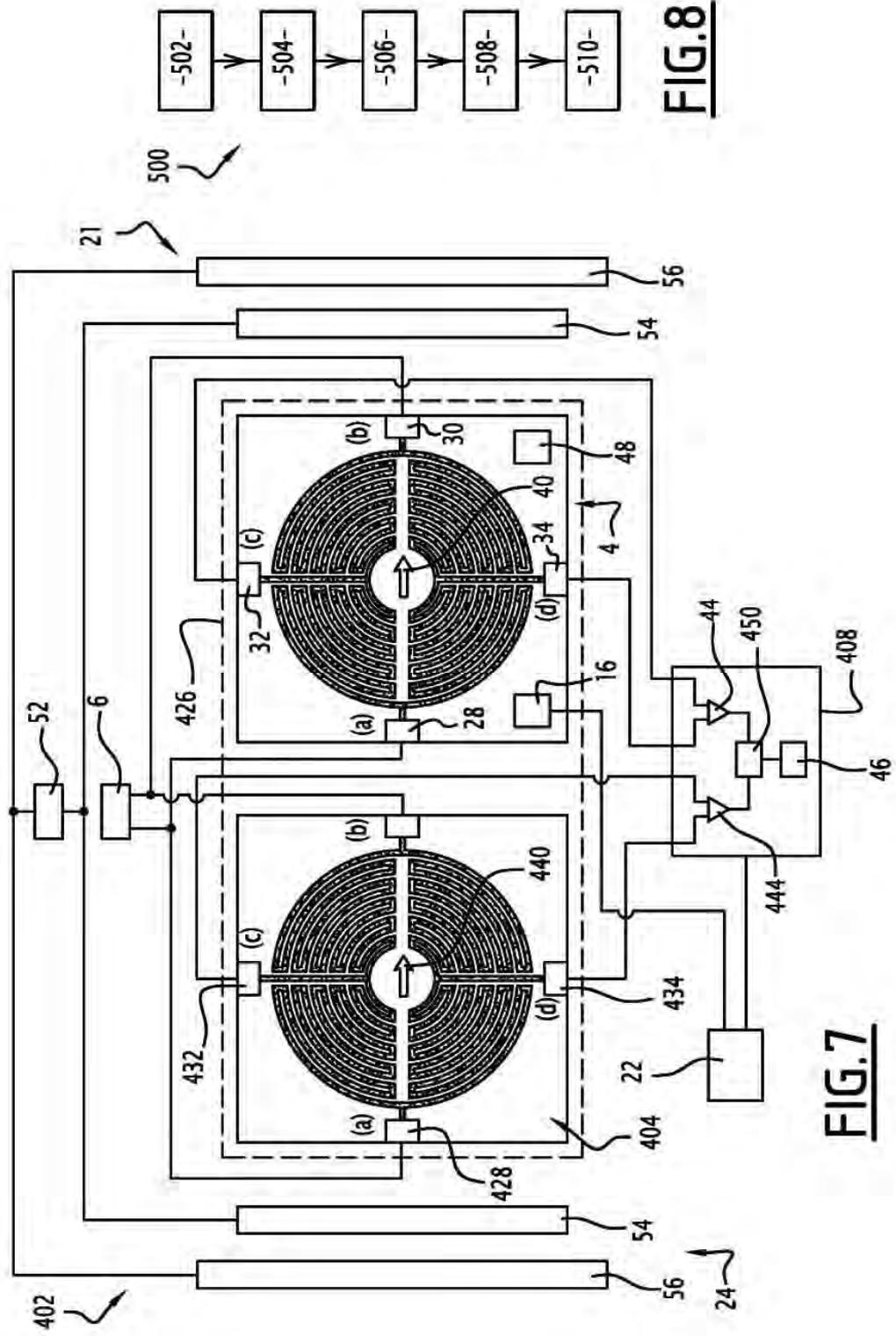


FIG. 8

FIG. 7

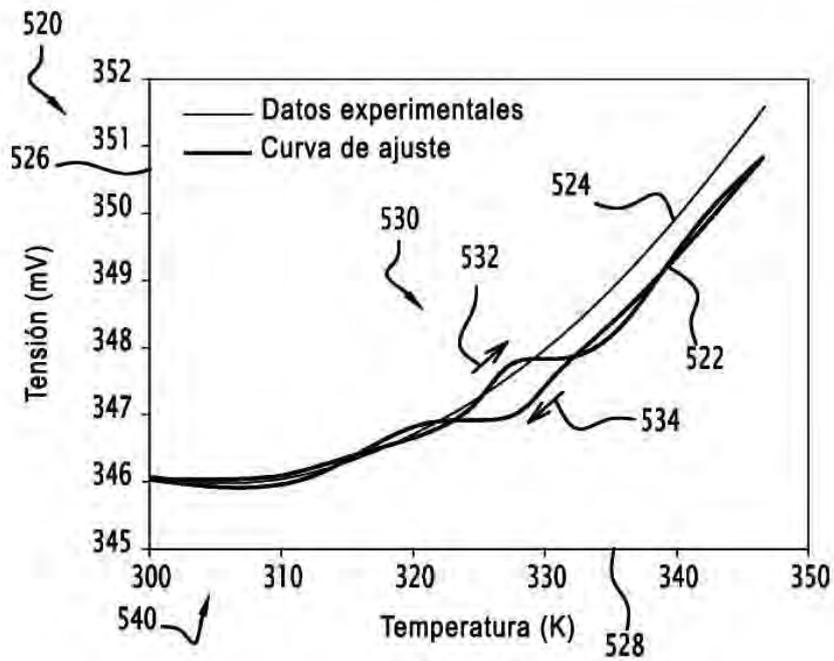


FIG. 9

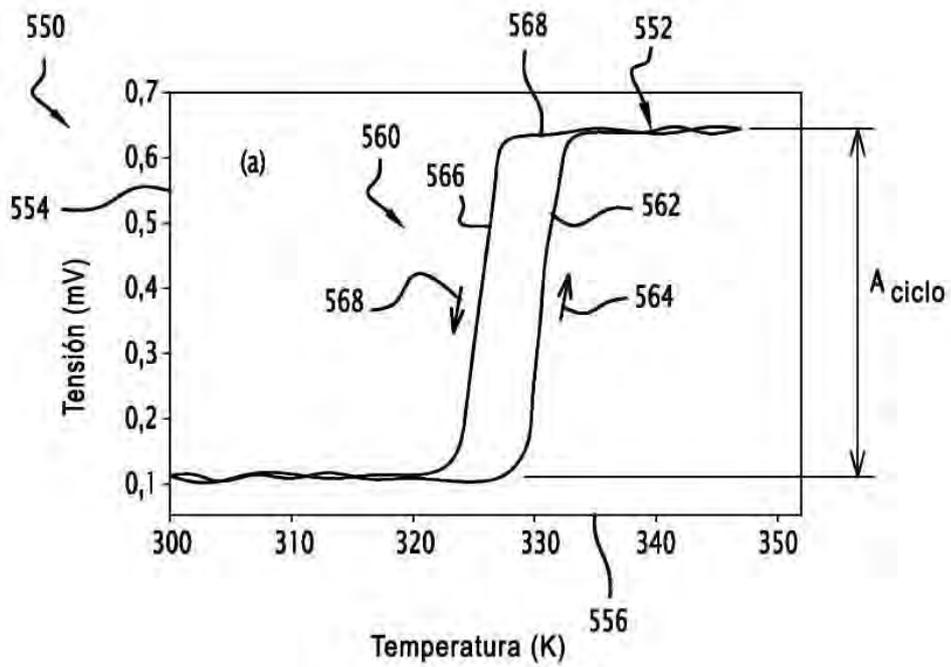


FIG. 10

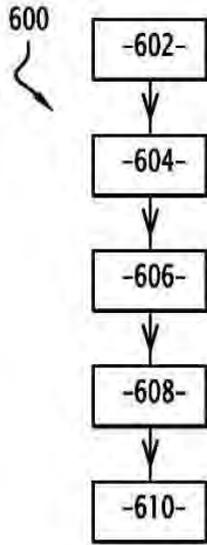


FIG.11

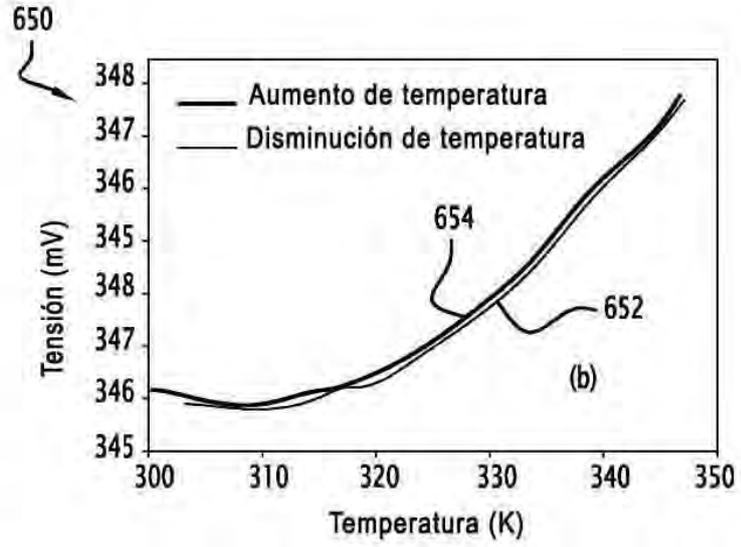


FIG.12

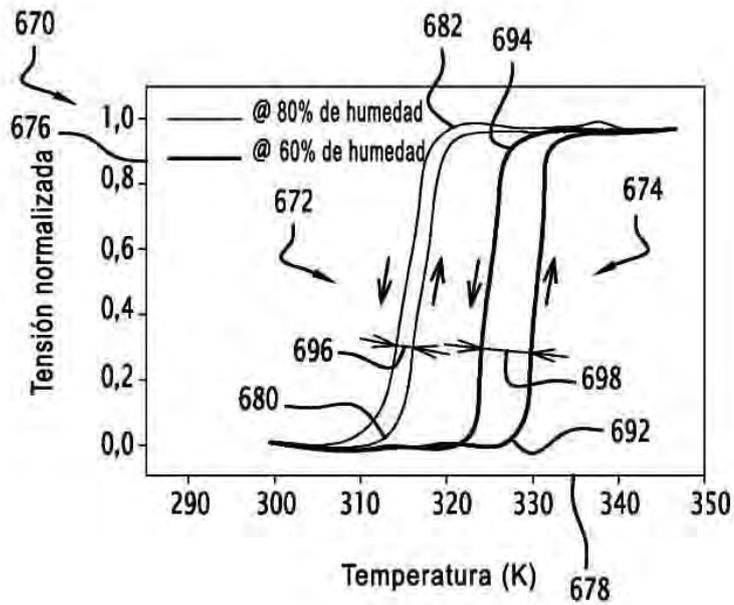


FIG.13

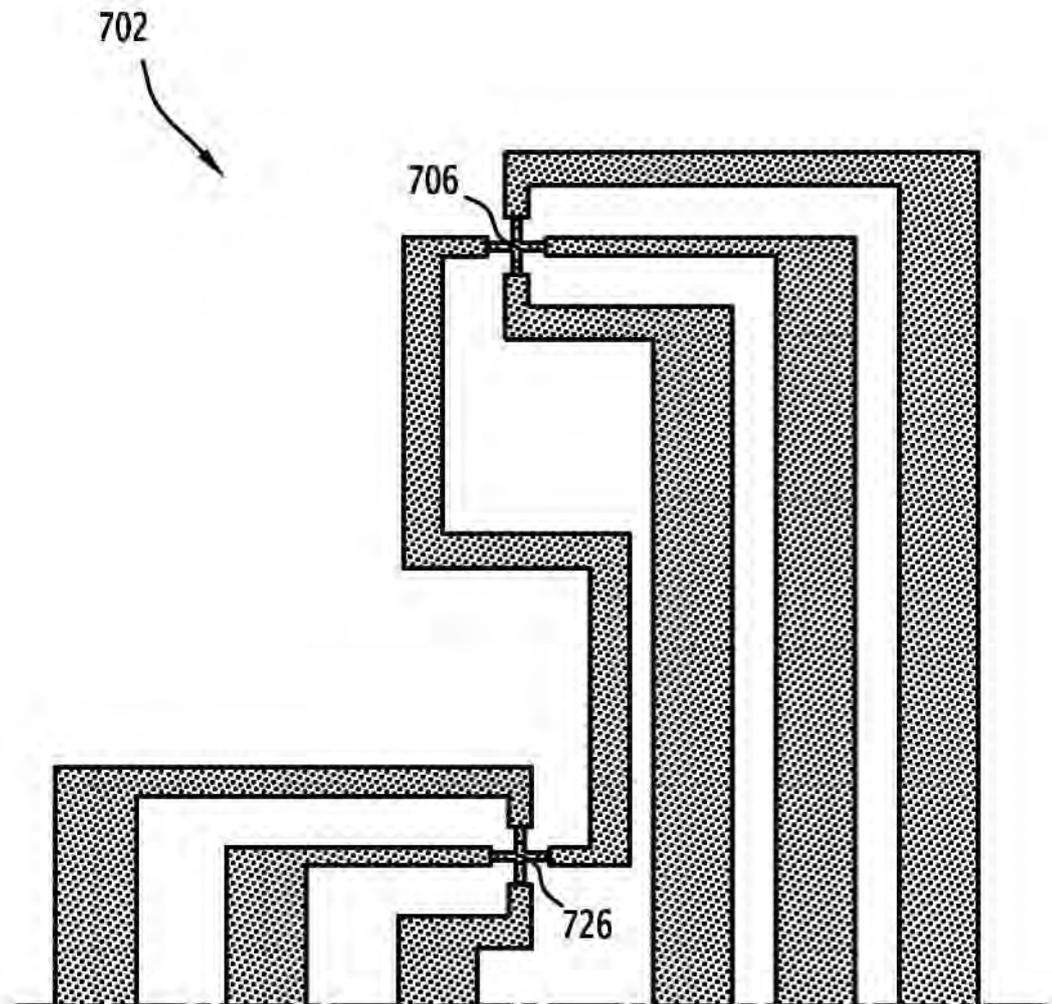


FIG.14