



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 352 631**

⑫ Número de solicitud: 200930483

⑮ Int. Cl.:
G01R 33/05 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **20.07.2009**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **22.02.2011**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
22.02.2011

⑰ Solicitante/s: **Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)** (Titular al 51 %)
c/ Serrano, 117
28006 Madrid, ES
Universidad Técnica Checa (Titular al 49 %)

⑱ Inventor/es: **Vázquez Villalabeitia, Manuel;**
Butta, Mattia;
Ripka, Pavel;
Infante Fernández, Germán y
Badini Confalonieri, Giovanni

⑳ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

㉔ Título: **Hilos magnéticos bimetálicos con anisotropía helicoidal, proceso de fabricación y aplicaciones.**

㉕ Resumen:

Hilos magnéticos bimetálicos con anisotropía helicoidal, proceso de fabricación y aplicaciones.

La presente invención se refiere un hilo magnético bimetálico que comprende cuatro capas diferentes, siendo una de ellas una capa ferromagnética con anisotropía helicoidal. Por tanto, la invención se encuentra enmarcada dentro del campo de materiales magnéticos, y concretamente de hilos magnéticos multicapas, y su aplicación dentro del campo de los elementos sensores, en particular el de los sensores magnéticos.

ES 2 352 631 A1

DESCRIPCIÓN

Hilos magnéticos bimetalicos con anisotropía helicoidal, proceso de fabricación y aplicaciones.

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere un hilo magnético bimetalico que comprende cuatro capas diferentes, siendo una de ellas una capa ferromagnética con anisotropía helicoidal. Por tanto, la invención se encuentra enmarcada dentro del campo de materiales magnéticos, y concretamente de hilos magnéticos multicapas, y su aplicación dentro del campo de los elementos sensores, en particular el de los sensores magnéticos.

Estado de la técnica

Existen numerosos trabajos científicos de magnetismo técnico acerca de la generación de anisotropías magnéticas en materiales mediante tratamientos térmicos de los mismos en presencia de campos magnéticos o de tensiones mecánicas. Estas anisotropías inducidas son de interés tecnológico pues posibilitan el diseño de propiedades magnéticas particulares para el desarrollo de elementos sensores de utilidad en dispositivos sensores (de campo magnético, tensión mecánica).

Estos elementos sensores poseen generalmente forma de cinta o hilo, y en numerosos casos microestructura amorfa, en donde con relativa facilidad se puede generar de forma controlada determinadas anisotropías magnéticas y estructuras de dominios magnéticos cuyas prestaciones magnéticas son de utilidad tecnológica.

La presente invención se centra en elementos sensores con geometría cilíndrica. Algunos dispositivos sensores emplean principios de funcionamiento basados en las propiedades magnetoelásticas de esos elementos sensores de geometría cilíndrica. Por ejemplo, para la detección de tensiones de torsión [I. Sasada "Torque detection apparatus" US Patent 4881414; I. Garshelis, R.J. Kan and S.P.L. Tollens, "Devices and methods for detecting rates of change of torque" US Patent 7386227]. Otros dispositivos se basan en las propiedades magnetoeléctricas de hilos amorfos. Por ejemplo, para la detección de campos magnéticos débiles utilizando el efecto de magnetoimpedancia gigante [K. Mohri and Y. Honkura "Amorphous Wire and CMOS IC Based Magneto-Impedance Sensors: Origin, Topics, and Future", Sensor Letters, Vol.5, pp.267-270 (2007); K. Mohri, T. Uchiyama, T. Maki, Y. Nakamura and Y. Inden "Human Spinal-cord Bio-Magnetic Field Detection Using Amorphous Wire CMOS IC pico-Tesla Magneto-Impedance Sensor (pT-MI sensor)", IEEE Trans. Magn., Vol.45, No. 10 (2009) in press].

Una familia de dispositivos sensores de particular relevancia para la medida de campos magnéticos son los llamados sensores de flux-gate, y en particular aquellos de tipo ortogonal [K. Goleman and I. Sasada, "Performance of the U-Shaped Core Orthogonal Fluxgate Magnetometer", Trans. Magn. Soc. Japan, 5, pp. 101-104, 2005]. Dentro de esta familia de dispositivos de flux-gate, aquellos que utilizan elementos sensores con simetría cilíndrica poseen ventajas específicas por poder inducir en ellos una anisotropía magnética helicoidal [P. Ripka and M. Butta "Ferromagnetic sensor" Czech Patent PV 2007-220].

Una característica ventajosa de determinados dispositivos sensores es la posibilidad de cuantificar la magnitud a medir sin contacto entre el elemento sensor y el sistema de recogida de voltaje proporcional a la variación de la magnitud a medir. Por ejemplo mediante la fijación del elemento sensor a la superficie de una barra para medir su estado de tensión mecánica mediante voltaje inducido en bobinas rodeando la barra [M. Sahashi "Torque sensor of the non-contact type" US Patent 1986, 4627298; K. Alasafi, H. Buehl, R. Gutoehrlein and E. Schiessle "Sensor for non-contact torque measurement on a shaft as well as a measurement layer for such a sensor" US Patent 1996 5493921].

Para poder realizar esas medidas, y además posibilitar el uso de sistemas no-contacto, es necesario que el elemento sensor posea unas características magnéticas específicas, en general una anisotropía magnética diseñada. Con frecuencia, en estos sensores sin-contacto se requiere la existencia de una anisotropía magnética helicoidal. Este tipo de anisotropía se puede inducir en un hilo ferromagnético simplemente aplicando una tensión de torsión. Para que una anisotropía helicoidal permanezca en el tiempo es preciso modificar adecuadamente el orden de corto alcance a escala atómica, lo cual se consigue mediante tratamientos termomecánicos en presencia de una torsión aplicada, o bien mediante un campo magnético helicoidal.

La presente invención se basa en inducir anisotropía magnética helicoidal en el elemento sensor mediante la aplicación de un campo magnético durante el proceso de electroquímico de fabricación del material. Numerosos trabajos han sido realizados sobre el efecto de la aplicación de campos magnéticos sobre películas magnéticas electrodepositadas, si bien se refieren a una configuración geométrica plana y con campos magnéticos uniáxicos [H.J. Cho, S. Bhansali and C.H. Ahn, "Electroplated thick permanent magnet arrays with controlled direction of magnetization for MEMS application" J. Appl. Phys. 87,(9)(2000); J.B. Yi, X.P. Li, J. Ding, J.H. Yin, S. Thongmee and H. L. Seet "Microstructure Evolution of Ni80Fe20-Cu Deposited by Electroplating Under an Applied Field", IEEE Trans. Magn., Vol. 43, No. 6, JUNE 2007; X.P. Lia, Z.J. Zhao, H.L. Seet, M. Heng, T.B. Oh and J.Y. Lee "Effect of magnetic field on the magnetic properties of electroplated NiFeO₂Cu composite wires; J. Appl. Phys. 94, No 10, 15 NOVEMBER 2003"]. Sin embargo, no existe ningún ejemplo de fabricación de hilos magnéticos con anisotropía magnética helicoidal inducida de forma permanente durante el propio proceso de fabricación.

La presente invención constituye la primera vez que se obtienen hilos magnéticos bimetálicos con anisotropía helicoidal intrínseca, para lo cual se ha utilizado un procedimiento totalmente novedoso de preparación del hilo durante el cual se genera la propia anisotropía helicoidal. Este hilo magnético es apropiado para su empleo como elemento sensor en dispositivos de tipo no-contacto por ejemplo, en sensores de tipo flux-gate.

En esencia, la anisotropía helicoidal presenta la ventaja de la observación de voltajes longitudinales cuando se excita circularmente el elemento sensor, lo cual representa ventajas técnicas de medición. La anisotropía se induce durante el mismo proceso de fabricación del elemento sensor, lo que constituye una técnica original en donde se conjunta el proceso de fabricación de hilo bimetálico magnético [M. Vázquez, G. Badini, K. Pirola, J. Torrejón and H. Pfützner "Multifunctional sensor based in multilayer magnetic microwires" Patent PCT/ES2006/070173] con la novedad de diseñar el carácter magnético del tubo externo durante el proceso de electrodeposición del tubo externo mediante la inducción de la anisotropía magnética helicoidal en la capa magnética externa. Esto se consigue mediante el paso de una corriente eléctrica en el núcleo metálico que genera un campo magnético circular en el tubo externo.

La utilidad muy concreta de la utilización de este tipo de microhilo bimetálico con anisotropía helicoidal en su tubo externo se particulariza en los sensores de flux-gate sin contacto [M. Butta, P. Ripka, S. Atalay, F.E. Atalay and X.P. Li "Flux gate effect in twisted magnetic wire", *J Magn Magn Mater* (2007)].

Descripción breve

Un primer aspecto de la presente invención es un hilo bi-metálico, en adelante hilo bimetálico de la invención, que comprende: (i) un núcleo metálico, (ii) una capa aislante que recubre dicho núcleo metálico, (iii) una capa nanométrica metálica sobre la capa aislante y (iv) una capa externa ferromagnética, en el que la capa ferromagnética tiene anisotropía magnética helicoidal.

Un segundo aspecto de la presente invención es el procedimiento de fabricación de hilo bimetálico de la invención que comprende las siguientes etapas: a) fabricación de un hilo metálico cubierto de Pirex mediante la técnica de solidificación ultrarrápida y estiramiento, b) recubrimiento de la capa de Pirex con una capa nanométrica de un metal noble por medio de una técnica de metalización, c) recubrimiento de la capa nanométrica de oro con una capa de permalloy por electrodeposición, en el que la electrodeposición del permalloy se lleva a cabo en presencia de un campo magnético helicoidal. Ese campo helicoidal lo genera la aplicación de una corriente eléctrica que circula por el núcleo metálico interno, simultáneamente con la aplicación de un campo longitudinal generado por bobinas.

Un tercer aspecto de la invención es el uso del hilo bimetálico de la invención como elemento sensor, y más concretamente en sensores magnéticos tipo flux-gate.

Descripción de las figuras

Figura 1.- Esquema representando el hilo y las zonas locales cubiertas de parafilm previas al proceso de metalización.

Figura 2.- Esquema donde se representa el proceso de arrollamiento de un extremo del hilo.

Figura 3.- Esquema de las distintas zonas de hilo hábiles para el proceso de electrodeposición.

Figura 4.- Esquema de la disposición del hilo en el portamuestras para la electrodeposición.

Figura 5.- Esquema del proceso de electrodeposición. El hilo de partida se dispone verticalmente en el interior de la cuba electrolítica. Para generar la electrodeposición se establece una diferencia de potencial entre el propio hilo y el electrodo circular que se encuentra en la parte interna de la cuba electrolítica, originando una corriente de electrodeposición, $I_{el-plating}$. Esa cuba se encuentra a su vez en el espacio interior de unas bobinas de Helmholtz que generan un campo magnético vertical, H_{long} , paralelo al propio hilo. Para generar el campo magnético circular, H_{circ} , en el hilo se hace circular una corriente eléctrica continua, $I_{circ-field}$, a través de él durante el proceso de electrodeposición.

Figura 6.- Micrografías por SEM de hilos bimetálicos con distinto espesor del tubo de permalloy (1 y 6 μm).

Figura 7.- Micrografía donde se observa la baja rugosidad del tubo de permalloy.

Figura 8.- Análisis composicional realizado por técnica EDS que confirma la pureza en composición del permalloy electrodepositado.

Figura 9.- Esquema del hilo bimetálico para ser empleado en un sensor de flux-gate. Se hace pasar una corriente I_{wire} por el núcleo de cobre que genera un campo magnético circular en la capa magnética externa y la satura magnéticamente. V_{wire} es la diferencia de potencial que aparece entre los extremos del hilo. B_{ext} representa el campo magnético exterior que se quiere medir.

Figura 10.- Voltaje inducido en el núcleo de cobre al pasar una corriente eléctrica a su través en presencia de un campo magnético estático longitudinal (izquierda). Ciclos de histéresis circulares en presencia de campos estáticos longitudinales de ± 20 A/m (derecha).

Figura 11.- Dependencia de la componente de segundo armónico del voltaje inducido entre los extremos del hilo.

Descripción detallada

La presente invención se refiere a un hilo bimetálico que comprende cuatro capas diferentes, y que tiene la particularidad de que la capa más exterior es una capa ferromagnética con anisotropía magnética helicoidal. Este tipo de hilos magnéticos con distintas capas se han preparado con anterioridad, pero es la primera vez que se fabrican consiguiendo que la capa exterior posea este tipo de anisotropía, y que simultáneamente esté aislada eléctricamente de la capa interna. Las características ventajosas que presentan estos hechos concretos son:

i) La existencia de anisotropía magnética helicoidal permite que un cambio en el tiempo de la componente azimutal (o circular) de la imanación en la capa externa de lugar a un voltaje eléctrico inducido entre los extremos del hilo (que es proporcional a la componente longitudinal de la imanación).

ii) Ese cambio en la componente azimutal se consigue mediante el paso de una corriente alterna por el núcleo del hilo. Por tanto, el núcleo debe estar aislado eléctricamente de la capa externa para controlar que la corriente circule sólo por el núcleo.

Es decir, ambas características posibilitan que el paso de una corriente variable en el tiempo por el núcleo conductor dé lugar a un voltaje en los extremos de la capa ferromagnética externa. En definitiva, el hilo multicapa actúa simultáneamente como agente activo (paso de corriente) y pasivo (voltaje inducido).

Por tanto, un aspecto de la presente invención es el hilo bi-metálico, en adelante hilo bimetálico de la invención, que comprende:

- (i) Un núcleo metálico,
- (ii) Una capa aislante que recubre dicho núcleo metálico,
- (iii) Una capa nanométrica metálica sobre la capa aislante,
- (iv) Una capa externa ferromagnética,

en el que la capa ferromagnética tiene anisotropía magnética helicoidal.

En esta invención se entiende que un material posee anisotropía magnética helicoidal cuando sus momentos magnéticos tienden a orientarse preferentemente según una hélice y, por tanto, con simetría helicoidal. Como consecuencia, los momentos magnéticos en un material que posea anisotropía magnética helicoidal poseerán simultáneamente componentes de imanación azimutal (o circular) y longitudinal (o axial).

Un aspecto preferente de la presente invención es el hilo bimetálico de la invención en el que el núcleo metálico (i) es de cobre.

Otro aspecto preferente de la invención es el hilo bimetálico de la invención en el que la capa aislante (ii) es de pirex.

Otro aspecto preferente de la invención es el hilo bimetálico de la invención en el que la capa nanométrica metálica (iii) es de oro. La capa de oro tiene un espesor entorno a los 30 nm.

Otro aspecto preferente de la invención es el hilo bimetálico de la invención en el que la capa ferromagnética es de *permalloy*. El *permalloy* es una aleación ferromagnética compuesta por níquel y hierro en la proporción $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$.

Otro aspecto preferente de la presente invención es el hilo bimetálico de la invención con dimensiones micrométricas, comprendidas dentro del rango 1 a 500 micras de diámetro.

Un segundo aspecto de la presente invención es el procedimiento de fabricación del hilo bimetálico de la invención que comprende las siguientes etapas

a) Fabricación de un hilo metálico cubierto de Pirex mediante la técnica de solidificación ultrarrápida y estiramiento.

b) Recubrimiento de la capa de Pirex del hilo metálico con una capa nanométrica de un metal noble por medio de una técnica de metalización.

c) Recubrimiento de la capa micrométrica de oro con una capa de permalloy por electrodeposición,

en el que la electrodeposición del permalloy se lleva a cabo en presencia de un campo magnético helicoidal. Ese campo helicoidal lo genera la aplicación de una corriente eléctrica que circula por el núcleo metálico interno, simultáneamente con la aplicación de un campo longitudinal generado por bobinas.

En la presente invención se definen como técnicas de metalización aquellas técnicas que posibilitan el recubrimiento de una superficie mediante una capa de carácter metálico. Así mismo se define como electrodeposición al proceso que permite el crecimiento de una capa conductora mediante el establecimiento de una diferencia de potencial entre dos electrodos, siendo uno de ellos la superficie sustrato donde se deposita esa capa.

Otro aspecto preferente de la presente invención es el procedimiento de fabricación de los hilos bimetálicos de la invención en el que el metal noble utilizado en el recubrimiento de la capa de Pirex es oro.

Otro aspecto preferente de la presente invención es el procedimiento de fabricación de los hilos bimetálicos de la invención en el que la técnica de metalización utilizada en la etapa b) es la pulverización catódica o *sputtering*. La pulverización catódica consiste, esencialmente, en la deposición sobre un sustrato de átomos arrancados previamente de dos o más blancos que constituirán la aleación de la capa depositada.

Un tercer aspecto de la invención es el uso del hilo bimetálico de la invención como elemento sensor.

Otro aspecto preferente de la presente invención es el uso del hilo bimetálico de la invención como elemento sensor en sensores magnéticos.

Otro aspecto más preferente de la presente invención es el uso del hilo bimetálico de la invención como elemento sensor en sensores magnéticos tipo flux-gate. Los sensores flux-gate son un tipo de sensor de campo magnético convencional que se basan en la ley de Faraday, con una geometría específica, y que trabajan en régimen de saturación. Como elemento sensor estos sensores requieren de materiales magnéticos blandos con elevada susceptibilidad magnética.

Ejemplo de realización de la invención

Fabricación de un hilo bimetálico con anisotropía helicoidal

La fabricación se realiza mediante las siguientes etapas:

a) Fabricación de un hilo metálico cubierto de Pirex mediante la técnica de solidificación ultrarrápida y estiramiento. Esta técnica consiste esencialmente en la solidificación ultrarrápida (a una velocidad típica de 10^5 a 10^6 °C/s) de una aleación metálica que se encuentra en el interior de un tubo de pirex. La aleación se funde mediante una bobina de inducción lo que hace fundir también el pirex. Dada la elevada viscosidad del pirex, es preciso extraer por estiramiento la aleación metálica en el interior del pirex posibilitando que se forme en el propio proceso de fabricación el hilo consistente en un núcleo metálico con microestructura amorfa y diámetro micrométrico, de aquella aleación, cubierto por una capa micrométrica de pirex.

b) Recubrimiento de la capa de pirex del hilo metálico con una capa micrométrica de oro por proceso de metalización o *sputtering* (término inglés que se traduce como pulverización catódica). Antes de proceder al recubrimiento, una de las terminaciones del hilo de cobre cubierto de pirex se recubre de parafilm con objeto de protegerla del proceso de metalización. Asimismo, otra región centrada del hilo es cubierta de parafilm para interrumpir la zona expuesta a la pulverización catódica. Las dimensiones concretas del hilo y de las zonas cubiertas o no de parafilm se representan en la Figura 1.

A continuación, se bobina la zona no cubierta a un anillo de plástico y se fija a él mediante parafilm que evita su desplazamiento, tal como puede verse en la Figura 2.

En el proceso de metalización o *sputtering*, el hilo se dispone en el interior de una cámara. Este proceso de metalización o *sputtering* comercial permite obtener un recubrimiento de Au de los hilos de 30 nm de espesor.

c) Recubrimiento de la capa micrométrica de oro con una capa de permalloy por electrodeposición en presencia de un campo magnético helicoidal.

Después del proceso de metalización se quita la capa protectora de parafilm y se desenrolla el hilo del anillo de modo que se retienen una serie de zonas locales cubiertas de oro en donde en principio se puede proceder a la electrodeposición, tal como se indica en la Figura 3. No obstante, en el proceso de electrodeposición se aplica la corriente exclusivamente en la primera zona de Au, es decir, los 5 cm primeros a la izquierda en la Figura 3. A continuación se coloca el hilo en el portamuestras para el proceso de electrodeposición tal como se indica en las Figuras 4. El portamuestras contiene 3 partes cubiertas de cobre para permitir el paso de corriente. Las 2 primeras, cuyo contacto se hace con pintura de plata para mejorar el contacto eléctrico (marcadas con Ag en Figura 4) están

separadas 2 cm y a ellas se fijan el extremo del hilo y el comienzo de la primera zona de Au del hilo. Para posibilitar el contacto eléctrico, la parte inicial de pirex se retira por proceso mecánico. El contacto al tercer punto de plata (3 en la Figura 4) se realiza también con pintura de plata. El esquema del proceso de electrodeposición se indica en la Figura 5, en el que por claridad no se representa el portamuestras completo sino sólo el hilo.

El portamuestras se dispone verticalmente en el interior de la cuba electrolítica la cual se encuentra a su vez en el espacio interior de unas bobinas de Helmholtz que generan un campo magnético vertical (H_{long}), paralelo al propio hilo. En nuestro ejemplo particular, se aplica una corriente de 200 mA por las bobinas de Helmholtz que genera un campo magnético longitudinal de 0.6 mT). A continuación se hace pasar una corriente eléctrica a través del núcleo interno de Cu del hilo. Esta corriente, circulando por el núcleo de Cu, genera un campo magnético circular alrededor del hilo. En nuestro ejemplo particular, esta corriente es de 150 mA que genera un campo circular de aproximadamente 450 A/m.

La combinación de campo longitudinal y circular da lugar a una campo magnético helicoidal en la zona externa del hilo donde se electrodeposita simultáneamente la microcapa de permalloy. Este campo helicoidal es el que origina la buscada anisotropía helicoidal en la capa externa del hilo.

El proceso de electrodeposición se realiza de modo convencional obteniendo una capa de permalloy conectando el generador de corriente a la celda terminal en el contacto de Ag interno del portamuestras. En función del tiempo de electrodeposición, se puede controlar el espesor de la capa externa de permalloy, que en nuestro ejemplo toma valores de hasta 10 μm .

El hilo bimetalico obtenido está constituido por un núcleo de cobre, recubierto por tubos de Pirex y oro, y finalmente por un tubo externo de permalloy.

Caracterización del hilo bimetalico obtenido

De acuerdo al proceso descrito anteriormente se han obtenido hilos bimetalicos cuya caracterización morfológica y estructural describimos a continuación. La Figura 6 muestra una imagen de microscopía electrónica de barrido, SEM, del corte transversal de un hilo bimetalico. En ella se observa el núcleo central metálico de cobre, la región intermedia de pirex y la capa externa de permalloy. La capa intermedia de oro no se aprecia por su reducido espesor nanométrico.

En la Figura 7 se muestra una imagen SEM de la superficie exterior del hilo bimetalico en la que se observa la baja rugosidad de la superficie de permalloy. Por último, la Figura 8 muestra los resultados del análisis composicional mediante EDS de una capa externa de permalloy de 6 μm de espesor. Este análisis permite confirmar la ausencia de contaminación de elementos ajenos al Fe y Ni.

Comprobación de la anisotropía magnética helicoidal del hilo bimetalico y respuesta de un elemento flux-gate

A continuación se muestra un ejemplo en el que se muestra que el hilo bimetalico obtenido en la presente invención presenta anisotropía magnética helicoidal, así como la respuesta del mismo como elemento sensor de flux-gate.

La Figura 9 representa esquemáticamente el hilo por cuyo núcleo de cobre se hace pasar una corriente alterna, I_{wire} , que genera un campo magnético circular en la capa magnética externa y la satura magnéticamente en esa dirección. V_{wire} es el voltaje inducido entre los extremos del hilo.

Por su parte, B_{ext} representa el campo magnético exterior que se quiere medir, y que en nuestro ejemplo lo generamos de forma controlada mediante unas bobinas de Helmholtz.

La Figura 10 (izquierda) muestra la dependencia del voltaje inducido entre los extremos del hilo de la invención al pasar una corriente eléctrica por el núcleo central de cobre. Las 2 curvas representan los resultados al aplicar campos magnéticos estáticos longitudinales de ± 20 A/m (mediante los carretes de Helmholtz), respectivamente. Como se puede observar los picos inducidos aparecen en sentidos opuestos lo que pone de manifiesto la existencia de una componente de anisotropía helicoidal. En otro caso, no debería observarse ese desplazamiento de picos sino solamente una modificación en la altura de los mismos.

Por su parte, la Figura 10 (derecha) representa los ciclos de histéresis circulares (M_c & H_c) de la capa de permalloy. En este caso, la existencia de la anisotropía helicoidal se pone de manifiesto en el desplazamiento de los ciclos al invertir el campo estático longitudinal.

Por último, y para comprobar el tipo de respuesta que puede ser empleada de forma real en un sensor de tipo de flux-gate, se ha medido la componente de segundo armónico en el voltaje inducido entre los extremos del hilo de la invención. La Figura 11 representa dicho armónico para una excitación con corriente sinusoidal por el núcleo de cobre (30 mA de amplitud y 10 kHz de frecuencia). Se puede observar la existencia de una región lineal central entorno al campo en el intervalo $\pm 40 \mu\text{T}$.

REIVINDICACIONES

1. Hilo bi-metálico que comprende: (i) un núcleo metálico, (ii) una capa aislante que recubre dicho núcleo metálico, (iii) una capa nanométrica metálica sobre la capa aislante y (iv) una capa externa ferromagnética, **caracterizado** porque dicha capa ferromagnética tiene anisotropía magnética helicoidal.

2. Hilo bimetálico según reivindicación anterior **caracterizado** porque el núcleo metálico (i) es de cobre.

3. Hilo bimetálico según reivindicación 1 **caracterizado** porque la capa aislante (ii) es de pirex.

4. Hilo bimetálico según reivindicación 1 **caracterizado** porque la capa nanométrica metálica (iii) es de oro.

5. Hilo bimetálico según reivindicación 1 **caracterizado** porque la capa ferromagnética (iv) es de permalloy.

6. Hilo bimetálico según reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque sus dimensiones son micrométricas, comprendidas dentro del rango de 1 a 500 micras de diámetro.

7. Procedimiento de fabricación del hilo bimetálico descrito en las reivindicaciones anteriores que comprende las siguientes etapas:

a) Fabricación de un hilo metálico cubierto de Pirex mediante la técnica de solidificación ultrarrápida y estiramiento.

b) Recubrimiento de la capa de Pirex del hilo metálico con una capa nanométrica de un metal noble por medio de una técnica de metalización.

c) Recubrimiento de la capa nanométrica del metal noble con una capa de permalloy por electrodeposición, **caracterizado** porque la electrodeposición del permalloy se lleva a cabo en presencia de un campo magnético helicoidal.

8. Procedimiento de fabricación del hilo bimetálico según reivindicación 7 **caracterizado** porque el metal noble utilizado en el recubrimiento de la capa de Pirex es oro.

9. Procedimiento de fabricación del hilo bimetálico según reivindicación 7 **caracterizado** porque la técnica de metalización utilizada en la etapa b) es el sputtering.

10. Uso del hilo bimetálico descrito en las reivindicaciones 1-6 como elemento sensor.

11. Uso del hilo bimetálico de la invención según reivindicación 10 como elemento sensor en sensores magnéticos.

12. Uso del hilo bimetálico de la invención según reivindicación 11 como elemento sensor en sensores magnéticos tipo Flux-gate.

FIG. 1

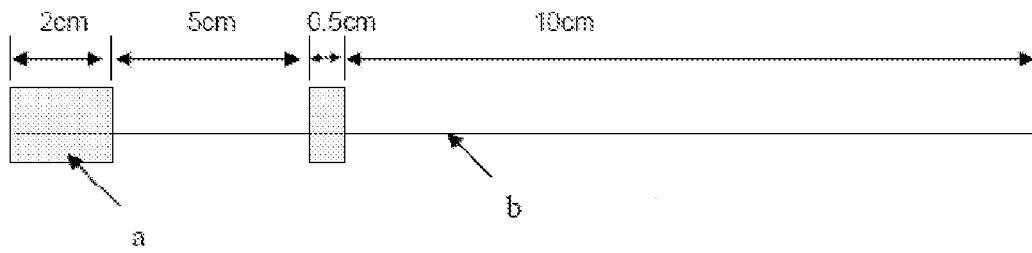


FIG. 2



FIG. 3

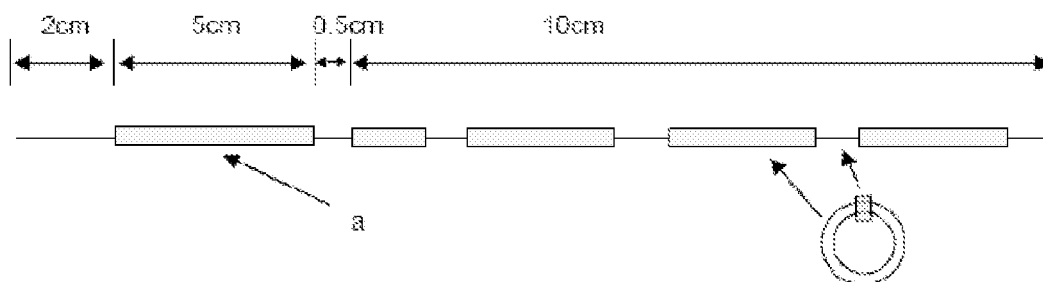


FIG. 4

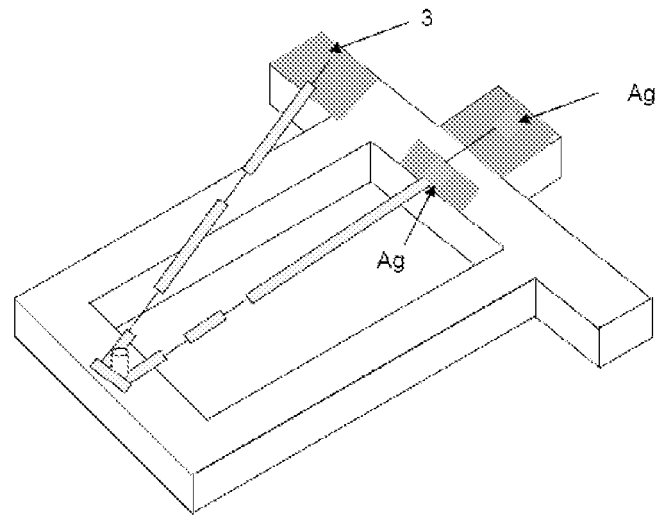


FIG. 5

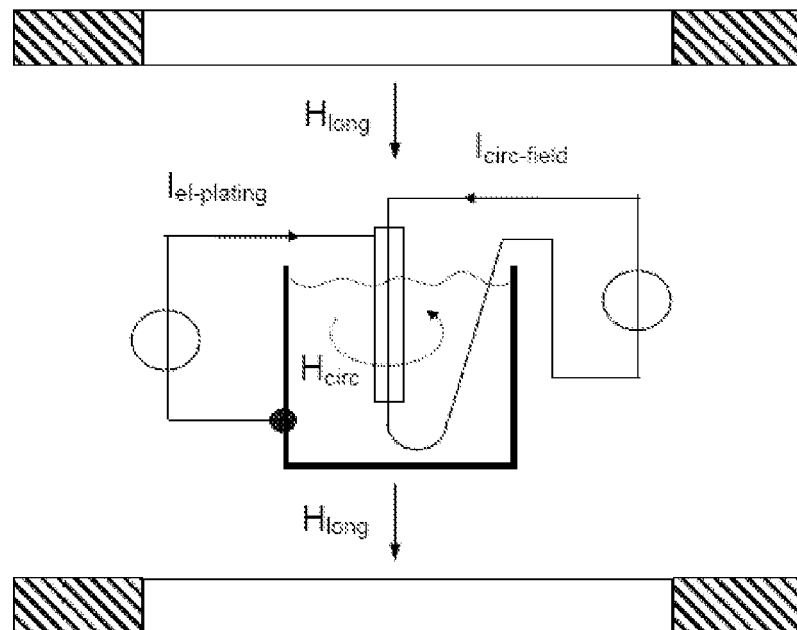


FIG. 6

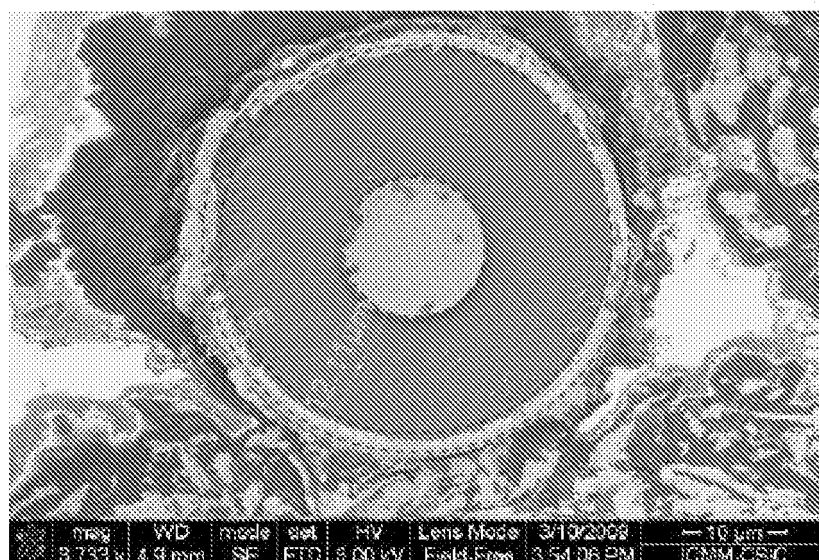


FIG. 7

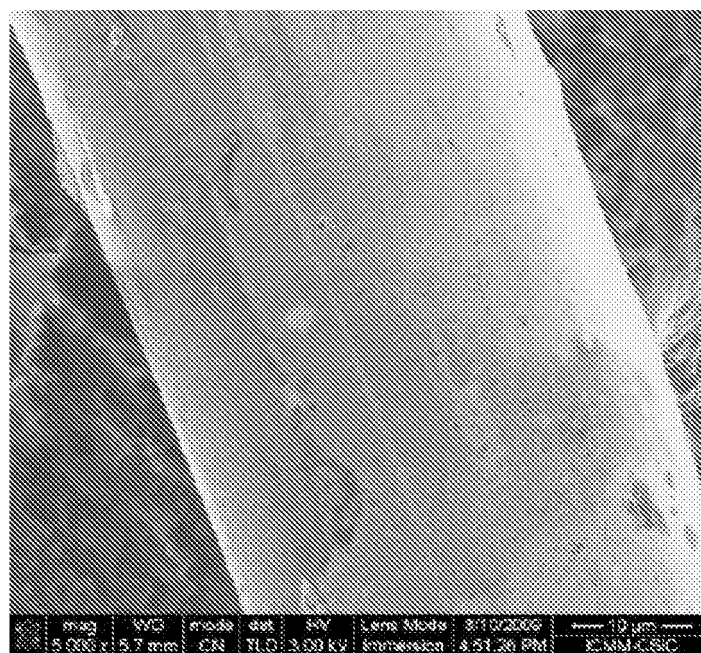


FIG. 10

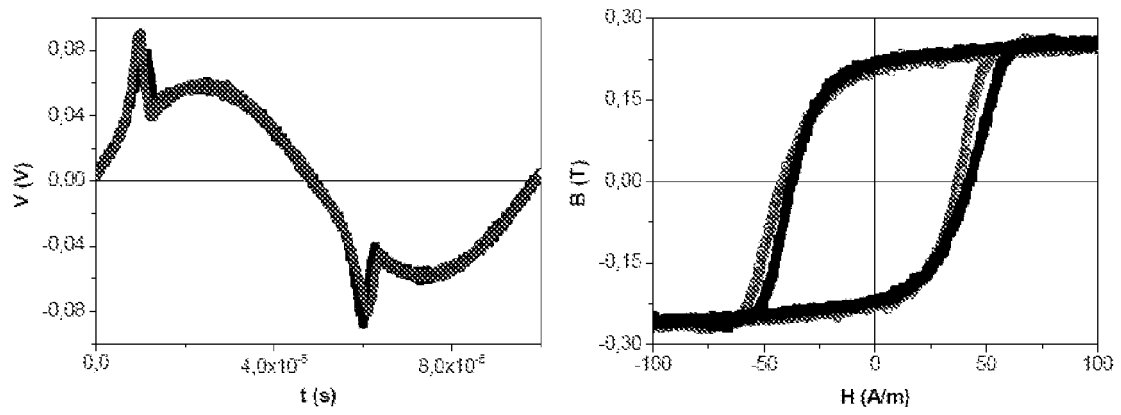
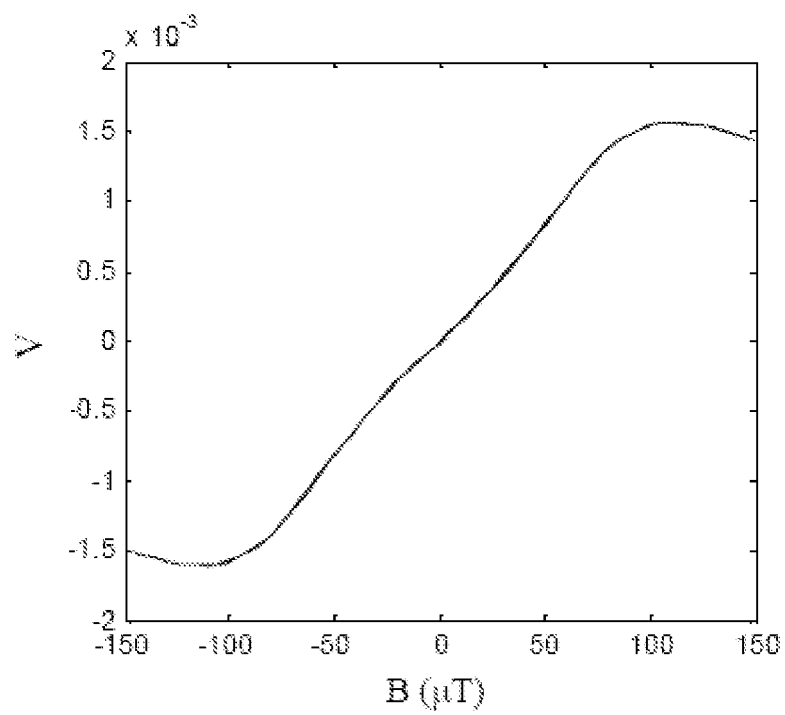


FIG. 11





OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200930483

②② Fecha de presentación de la solicitud: **20.07.2009**

③② Fecha de prioridad: **00-00-0000**
00-00-0000
00-00-0000

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01R 33/05** (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	PIROTA, K.R., et al., Bi-magnetic microwires: a novel family of materials with controlled magnetic behavior, J. Magnetism and Magnetic Materials, 2005, Vol. 290-291, págs. 68-73, resumen; apartados "2.Fabrication of multilayer microwires" y "5.Conclusions".	1-11
Y	US 4236230 A1 (THOMPSON et al.) 25.11.1980, resumen; columna 2, línea 23 - columna 3, línea 11; columna 3, línea 58 - columna 4, línea 39; columna 5, líneas 27-39.	1-11
A	WO 2007054602 A1 (CONSEJO SUPERIOR INVESTIGACION; UNIV TECNOLOGICA DE VIENA) 18.05.2007	1-12
A	EP 0763832 A1 (JAPAN RES DEV CORP) 19.03.1997	1-12
A	WO 2008116427 A1 (CESKE VUT V PRAZE; RIPKA PAVEL; BUTTA MATTIA) 02.10.2008	1-12

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
21.04.2010

Examinador
M. García Poza

Página
1/4

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

G01R, C23C

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

INVENES, EPODOC,WPI,CAPLUS,XPESP

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 21.04.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-12	SÍ
	Reivindicaciones _____	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 12	SÍ
	Reivindicaciones 1-11	NO

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

Base de la Opinión.-

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

1. Documentos considerados.-

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

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	PIROTA, J. Magnetism and Magnetic Materials.	2005
D02	US4236230A1	25.11.1980

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

El objeto de la invención es un hilo bimetálico multicapa magnético, su procedimiento de fabricación y sus usos.

El documento D01 divulga un hilo bimetálico multicapa magnético, su procedimiento de fabricación y su uso como sensor magnético. Dicho hilo comprende un núcleo metálico magnético, por ejemplo de cobre, una capa intermedia de vidrio, una capa nanométrica de oro, plata o titanio, y una capa externa magnética, por ejemplo de CoNi (resumen; apartados "2.Fabrication of multilayer microwires" y "5.Conclusions").

La diferencia entre el hilo magnético de la invención, recogido en la reivindicación 1 de la solicitud, y el divulgado en el documento D01 es que en el hilo de la invención la capa externa presenta una anisotropía magnética helicoidal. La existencia de esta capa con anisotropía magnética helicoidal induce un voltaje eléctrico entre los extremos del hilo cuando varía la imanación de dicha capa con el tiempo.

Sin embargo, el documento D02 divulga un hilo bimetálico multicapa magnético que comprende un núcleo metálico (por ejemplo de berilio-cobre, wolframio, molibdeno, níquel-cromo y otros) y una capa externa también metálica (por ejemplo, de NiFe 50:50), que presenta una anisotropía magnética helicoidal. De este modo se consigue un dispositivo magnetostrictivo biestable (resumen; columna 2, línea 23-columna 3, línea 11). Por lo tanto, el experto en la materia podría aplicar las propiedades de la capa externa del hilo divulgado en el documento D02, esto es, una capa metálica con anisotropía magnética helicoidal, a la capa externa del hilo divulgado en D01 obteniendo así el hilo de la invención, es decir, el hilo con un núcleo de cobre, una capa intermedia de vidrio, una capa nanométrica de un metal noble y una capa externa metálica con anisotropía magnética helicoidal. En consecuencia, a la vista de la información divulgada en los documentos D01 y D02 el objeto de la invención recogido en las reivindicaciones 1 a 6 carece de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

El documento D01 divulga el procedimiento de preparación de un hilo magnético que comprende las siguientes etapas: a) fabricación de un hilo metálico cubierto de pìrex mediante la técnica de solidificación ultrarrápida y estiramiento; b) recubrimiento de la capa de pìrex con una capa nanométrica de plata, o de titanio o de oro mediante la técnica de bombardeo iónico (término en inglés "sputtering"); y c) recubrimiento de esta capa metálica con una capa de aleaciones de hierro, níquel o cobalto por electrodeposición.

La diferencia entre el procedimiento de preparación del hilo magnético de la invención, recogido en la reivindicación 7 de la solicitud, y el divulgado en el documento D01 es que el procedimiento de la invención la electrodeposición se lleva a cabo a la vez que se aplica un campo magnético helicoidal gracias al cual se crea una capa metálica con anisotropía magnética helicoidal.

Sin embargo, en el documento D02 también se divulga el método de fabricación de un hilo bimetálico multicapa, cuya capa externa presenta una anisotropía helicoidal magnética permanente, que se basa en depositar una lámina delgada de un metal sobre un hilo metálico de diferente composición. El depósito de la lámina delgada se lleva a cabo, por ejemplo, mediante electrodeposición. Para inducir la anisotropía magnética helicoidal permanente en la lámina delgada se aplica un campo magnético helicoidal sobre el núcleo mientras tiene lugar la electrodeposición de la lámina delgada. Este campo magnético helicoidal se crea al aplicarse simultáneamente sobre el núcleo un campo magnético longitudinal a éste y una corriente eléctrica que produce un campo magnético anular alrededor del hilo. De este modo se deposita sobre el núcleo metálico una lámina delgada de metal con anisotropía magnética helicoidal permanente (columna 3, línea 58-columna 4, línea 39; columna 5, líneas 27-39). Por lo tanto, el objeto de la invención recogido en las reivindicaciones 7 a 9 carece de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

Los usos de hilos magnéticos como sensores magnéticos son bien conocidos en la técnica, por lo tanto, a la vista de la información divulgada en los documentos D01 y D02 el objeto de la invención recogido en las reivindicaciones 10 y 11 carece de actividad inventiva (Art. 8.1 LP).

Por último, el uso de un hilo bimetálico con anisotropía magnética helicoidal en la capa externa como elemento sensor en sensores magnéticos tipo flux-gate es nuevo y tiene actividad inventiva (Arts. 6.1 y 8.1 LP).