



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 249 974**

② Número de solicitud: 200400486

⑤ Int. Cl.:
G11B 5/39 (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **01.03.2004**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.04.2006**

Fecha de la concesión: **30.04.2007**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **01.06.2007**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:
01.06.2007

⑰ Titular/es:
**Consejo Superior de Investigaciones Científicas
c/ Serrano, 117
28006 Madrid, ES**

⑱ Inventor/es: **García García, Nicolás**

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Dispositivo spintrónico magnetoresistivo, su procedimiento de fabricación y sus aplicaciones.**

㉒ Resumen:

Dispositivo spintrónico magnetoresistivo, su procedimiento de fabricación y sus aplicaciones.

La presente patente describe la fabricación de dispositivos sensores del campo magnético cuyo funcionamiento esta basado en el fenómeno de la magnetorresistencia balística (BMR). Este dispositivo spintrónico magnetoresistivo difiere de los otros existentes hasta la fecha en que los nanocontactos se forman por la inclusión de una o más partículas ferromagnéticas de tamaño micro y/o nanométrico situadas entre dos electrodos que hacen de contactos con deposiciones electroquímicas y/o incrustaciones metálicas adecuadas. La configuración de la partícula o las partículas que forman el área de contacto (así como, los materiales utilizados en los electrodos y en las partículas) puede variar. Los sensores magnéticos descritos muestran grandes valores de MR, pero lo que es mas importante, estos dispositivos permanecen estables por largos periodos de tiempo.

ES 2 249 974 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Dispositivo spintrónico magnetoresistivo, su procedimiento de fabricación y sus aplicaciones.

Estado del arte

La magnetoresistencia (MR) es una característica del transporte electrónico que depende de la orientación de spin. Es decir, la orientación de los spines modifica la resistencia eléctrica de un circuito o de un dispositivo. Este efecto es tremendamente importante en las aplicaciones de almacenamiento de la información en memorias magnéticas, debido a que con ella podemos "leer" y/o "escribir" a través de cambios en la resistencia que responden a códigos magnéticos (orientaciones de spin). También existen sensores de electrónica de spin que se utilizan para otras aplicaciones.

Las tecnologías actuales de almacenamiento de datos en memorias magnéticas están muy cerca de los límites teóricos (densidad datos por unidad de superficie), debido a esto se hace necesario el desarrollo de nuevos dispositivos MR de lectura/grabación mediante la aplicación de nuevas tecnologías. Los límites tecnológicos actuales de dichos dispositivos estarían cerca de 23,25 Gb/cm², mientras que la densidad de datos superficial actual es de 2,32 Gb/cm².

La magnetoresistencia se ha estudiado utilizando nanocontactos fabricados entre hilos de materiales ferromagnéticos, obteniéndose resultados de 200% de magnetoresistencia balística (BMR) (N. García, M. Muñoz and Y.-W. Zhao, Phys. Rev. Lett. Vol. 82, 2923 (1999)). Por otro lado, también se han fabricado nanocontactos magnéticos por electrodeposición de materiales ferromagnéticos entre dos electrodos, mejorándose los resultados anteriores y obteniéndose valores de magnetoresistencia de 500-700% a temperatura ambiente (N. García, *et al*, Applied Physics Letters 79, 4550(2001)).

Además de los problemas propios de su fabricación (fabricación mecánica o electrodeposición), este tipo de dispositivos se enfrentan a dificultades que desmejoran sus posibilidades de comercialización, por ejemplo:

- poca reproducibilidad de los resultados, e
- inestabilidad de los contactos, que muestran disminuciones importantes o desaparición de la magnetoresistencia después de un cierto tiempo (pueden ser horas o días).

Descripción de la invención

La presente invención se basa en que los inventores han observado que es posible obtener altos valores de magnetoresistencia, entre 100% y 1500% ó superiores, cuando se aplican campos magnéticos débiles mediante una nueva configuración de contacto electrónico en escala nano ó micrométrico basada en el fenómeno de la magnetoresistencia balística (BMR), lo cual puede aplicarse a la fabricación de dispositivos spintrónicos magnetoresistivos, como por ejemplo, lectores/grabadoras de memorias magnéticas o también potencióstatos u otro tipo de sensor magnético en el que aplicando campo magnético cambie la corriente.

Como se describe a continuación los dispositivos elaborados en la presente invención, adecuadamente fabricados, proveen resultados consistentes con

valores de magnetoresistencia de 100% ó mayores (Véanse las Figuras 6 y 7, se pueden obtener valores de hasta 1500% e incluso mayores), y son estructuralmente mucho más estables en el tiempo (durante dos meses que se ha estado comprobando con cientos de ciclos de resistencia frente a campo), por lo que tienen las ventajas de los dispositivos sensores producidos por electrodeposición, pero además eliminan sus principales desventajas, y por lo tanto, son muy interesantes para aplicaciones a nivel comercial. Por ello, con dispositivos como los representados en la presente invención aplicados como lectores/grabación de sistemas de memorias magnéticas (Figura 1) sería factible alcanzar densidades teóricas del orden de los Tb/cm² (1000 veces mayores que los actuales).

Para que se produzca la BMR el diámetro del canal de conducción (nanocontacto) debe ser menor que el camino libre medio de spin de los electrones que lo atraviesan. Esto produce que el scattering de los electrones, en el área del contacto, esté limitado por los efectos magnéticos, de ahí la utilidad de los nanocontactos como sensores magnéticos (Figura 2).

La fabricación de contactos nanométricos, representa un gran desafío a la hora de realizar un dispositivo "spintrónico" magnetoresistivo con aplicaciones tecnológicas como pueden ser potencióstatos en lo que no hay contacto eléctrico y se realizan por medio de la aplicación de un campo magnético. Como se mencionó, los problemas a superar están relacionados con la estabilidad de los contactos y la reproducibilidad de los resultados.

Así, un objeto de la presente invención lo constituye un dispositivo spintrónico magnetoresistivo, en adelante dispositivo de la presente invención, caracterizado porque el contacto o gap nano y/o micrométrico se forma por la inclusión de una ó más partículas magnetoresistivas (o ferromagnéticas) del material que forma el contacto y de tamaño compatible al del gap y porque la configuración de dicho contacto está constituido por una partícula o varias presionadas firmemente, o por electrodeposición para darle consistencia, en un pequeño canal (c) producido en una capa aislante (b) entre dos láminas conductoras (a) que actúan como electrodos conectados a los cables del circuito (d) (Figura 4).

La configuración de la presente invención esta basada en dos electrodos que forman un gap, conectados entre sí por partículas del material que forma el nanocontacto. La configuración del contacto puede variar desde una sola partícula (Figura 3) ubicada en el gap, hasta un array de partículas compactadas (Figura 5). Estas partículas pueden tener dimensiones nano y/o micrométricas.

Un objeto particular de la presente invención lo constituye el dispositivo de la invención con una configuración en la que las partículas (también puede ser solo una partícula) (C), los electrodos y los cables (A) están ubicados sobre el mismo plano, estando las partículas pegadas firmemente en el gap (B) para formar el contacto (Figura 5).

Otro objeto particular de la invención lo constituye el dispositivo caracterizado porque los electrodos pueden ser magnéticos o no magnéticos y pueden colocarse en cualquier configuración (vertical, horizontal, etc), permitiendo la disposición de una o más partículas ferromagnéticas que cerrarán el gap en forma estable. Además, es importante la ubicación precisa

de las partículas en el gap que permitan la formación de un contacto cuya respuesta magnetorresistiva no se disminuya por la respuesta magnetoelástica, o aumente o sea estable, de las partículas ni de los electrodos (si estos son magnéticos).

Otro objeto particular de la presente invención lo constituye un dispositivo de la invención basado en la gran variación de resistencia eléctrica a distintos voltajes o corrientes aplicados *con el campo magnético fijo, es decir*, que no hace falta variar el campo magnético, basta con cambiar la corriente de medida.

Otro objeto de la presente invención lo constituye un procedimiento para la fabricación del dispositivo de la presente invención, en adelante procedimiento de la presente invención, caracterizado porque las partículas son posicionadas en el contacto mediante métodos mecánicos de incrustación o electrodeposición de la siguiente forma:

- a) consiste en poner las partículas formando un sándwich aislante entre dos láminas conductoras (electrodos, ver Figura 4), o
- b) disposición de partículas dispuestas firmemente entre los electrodos y todo el dispositivo ubicado en el mismo plano (Figura 5).

La colocación de partículas nano o micrométricas en el gap que hay entre dos electrodos no necesariamente producirá un sensor magnetorresistivo. Las variables a controlar para obtener los resultados deseados son muchas y complejas, por ejemplo:

- Material ferromagnético utilizado en las partículas.
- Eficiencia del contacto electrodo/partículas.
- Formación de óxidos en el gap.

La configuración de la partícula o las partículas que forman el área de contacto (así como, los materiales utilizados en los electrodos y en las partículas) puede variar. Las partículas son importantes porque proveen el material ferromagnético adecuado ya que se pueden fabricar de todo tipo de materiales ferromagnéticos y por que sus contactos pueden consolidarse y aislarse del mundo exterior encapsulándose. También durante el proceso de fabricación de las micro y nanopartículas estas adquieren otros elementos (como oxígeno, azufre, etc) que podrían aumentar sus propiedades magnetorresistivas. Todas estas posibles adaptaciones del dispositivo de la presente invención forman parte de la misma.

Finalmente, otro objeto de la presente invención lo constituye el uso del dispositivo de la presente invención en la elaboración de un dispositivo sensor magnetorresistivo, para su aplicación preferentemente, a título ilustrativo y sin que limite el alcance de la presente invención, para la elaboración de un lector/grabación de sistemas de memorias magnéticas y de potencióstatos de aplicación de campo magnético con variación de corriente u otros dispositivos en los que aplicando campo magnético varíe la corriente eléctrica. Además, los datos de esta invención muestran que también se puede aplicar a dispositivos, no sólo magnetorresistivos, sino también de variación de corriente a campo magnético cero. Como se ilustra en la Figura 7 en la curva superior, que se realiza a

campo magnético cero, hay una variación de la resistencia eléctrica de un factor de 2 con solo cambiar la corriente a 10 micro Amperios.

Descripción de las figuras

Figura 1.- *Esquema de una cabeza lectora magnética MR.* El tamaño nanométrico de las cabezas lectoras magnéticas MR permiten leer bits de información más pequeños y por lo tanto empaquetados en una forma más compacta, lo cual permite grandes capacidades de almacenamiento de la información.

Figura 2.- *Esquema del nanoccontacto que conecta los dos electrodos macroscópicos magnetizados en direcciones opuestas.* El diámetro del contacto está en el rango de los nanómetros y los electrones que lo atraviesan conservan el spin lo cual produce una variación en la resistencia. Esto permite la codificación magnética de la información entre las configuraciones ferromagnéticas o antiferromagnéticas.

Figura 3.- *Imagen de una partícula ferromagnética, pegada en un substrato rígido.* Esta imagen fue tomada con un microscopio de fuerza atómica (AFM). El scan es de 30 μm y el diámetro de la partícula es de 20 μm . Las partículas pueden tener tamaños mayores o mucho menores, pero la forma y estructura será siempre similar a la que se muestra en esta figura. Las partículas son importantes porque proveen el material ferromagnético adecuado ya que se pueden fabricar de todo tipo de materiales ferromagnéticos y por que sus contactos pueden consolidarse y aislarse del mundo exterior encapsulándose. También durante el proceso de fabricación de las micro y nanopartículas estas adquieren otros elementos (como oxígeno, azufre, etc) que podrían aumentar sus propiedades magnetorresistivas.

Figura 4.- *Configuración básica del dispositivo de la presente invención.* Una partícula o varias son presionadas firmemente en un pequeño canal (c) producido en una capa aislante (b) entre dos láminas conductoras (a) que actúan como electrodos conectados a los cables del circuito (d).

Figura 5.- *Otra configuración básica del dispositivo de la presente invención.* En este dispositivo, las partículas (también puede ser solo una partícula) (C), los electrodos y los cables (A) están ubicados sobre el mismo plano. Las partículas están pegadas firmemente en el gap (B) para formar el contacto, los contactos se producen por incrustación o electrodeposición.

Figura 6.- *Curva experimental configurada con el dispositivo de la Figura 4, que muestra la variación de la resistencia eléctrica en función el campo magnético aplicado.* La corriente utilizada en la medición de la resistencia es de 0.002 mA y la MR obtenida es de 1500%.

Figura 7.- *Curva experimental que muestra la variación de la resistencia con la corriente utilizada en la medición.* La curva superior se midió sin campo magnético externo aplicado y la inferior con un campo magnético de 5000 Oe.

Ejemplo de realización

El objeto de la invención propuesta es proveer una configuración de contacto eléctrico en escala micro y/o nanométrico que de altos valores de magnetorresistencia cuando se apliquen campos magnéticos débiles. El producto final de la presente invención deberá ser un dispositivo de bajo precio, gran estabilidad temporal y cuya eficiencia permanezca inalterable durante el tiempo. Para lograr esto las partículas son po-

sionadas en el contacto mediante métodos mecánicos de incrustación o electrodeposición.

En particular estudiamos dos tipos posibles de métodos de fabricación de los contactos. El primero de los mismos, consiste en poner las partículas formando un sándwich aislante entre dos láminas conductoras (electrodos, ver Figura 4). El segundo método de fabricación implica la disposición de partículas dispuestas firmemente entre los electrodos y todo el dispositivo ubicado en el mismo plano (Figura 5). Pero también se han desarrollado otras variantes que pueden conducir a resultados similares. Este es el caso cuando el dispositivo no es completamente coplanar o tubular como corresponde a las Figuras 5 y 4, respectivamente.

El tamaño del sensor, así fabricado, se reduce a

un cluster o un grupo de clusters de átomos ferromagnéticos que forman el "contacto" (simplificándose el circuito como un "contacto" entre dos cableconductores). Los materiales usados para las partículas son magnéticos y hemos usado una gran variación de ellos. Monoatómicos, biatómicos y triatómicos. Todos ellos dan resultados elevados de μ MR, en particular los de la Figuras 6 y 7 corresponden al hierro. Véase (Fig.6) que aquí hay variaciones de la resistencia eléctrica (ordenadas) con el campo magnético (abscisas) de hasta el 1500%. Estos resultados han sido estables por dos meses. En la Figura 7 se muestra la resistencia (ordenadas) con la corriente de medida (abscisas) para dos campos magnéticos aplicados. Curva superior, campo cero, y la inferior un campo de 5000Oe.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo spintrónico magnetoresistivo **caracterizado** porque el contacto o gap nano y/o micro-métrico se forma por la inclusión de una ó más partículas magnetoresistivas (o ferromagnéticas) del material que forma el contacto y de tamaño compatible al del gap y porque la configuración de dicho contacto está constituido por una partícula o varias presionadas firmemente en un pequeño canal (c) producido en una capa aislante (b) entre dos láminas conductoras (a) que actúan como electrodos conectados a los cables del circuito (d) (Figura 4).

2. Dispositivo según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la configuración del contacto incluye una sola partícula.

3. Dispositivo según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la configuración del contacto incluye más de una partícula.

4. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a la 3 **caracterizado** porque la configuración de las partículas (también puede ser solo una partícula) (C), los electrodos y los cables (A) están ubicados sobre el mismo plano, estando las partículas pegadas firmemente en el gap (B) para formar el contacto (Figura 5).

5. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a la 3 **caracterizado** porque los electrodos pueden ser magnéticos o no magnéticos y pueden colocarse en cualquier configuración (vertical, horizontal, etc), permitiendo la disposición de una o más partículas ferromagnéticas que cenarán el gap en forma estable.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

6. Dispositivo según las reivindicaciones 1 a la 3 **caracterizado** porque está basado en la gran variación de resistencia eléctrica a distintos voltajes o corrientes aplicados con el campo magnético fijo, es decir, que no hace falta variar el campo magnético, basta con cambiar la corriente de medida.

7. Procedimiento para la fabricación de un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 6 **caracterizado** porque las partículas son posicionadas en el contacto mediante métodos mecánicos de incrustación o electrodeposición de la siguiente forma:

a) consiste en poner las partículas formando un sándwich aislante entre dos láminas conductoras (electrodos, ver Figura 4), o

b) disposición de partículas dispuestas firmemente entre los electrodos y todo el dispositivo ubicado en el mismo plano (Figura 5).

8. Uso del dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 6 en la elaboración de un dispositivo sensor magnetoresistivo.

9. Uso según la reivindicación 8 **caracterizado** porque el dispositivo sensor magnetoresistivo es un lector/grabación de sistemas de memorias magnéticas.

10. Uso según la reivindicación 8 **caracterizado** porque el dispositivo sensor magnetoresistivo es un potencióstato u otro tipo de sensor magnético en el que aplicando campo magnético cambie la corriente.

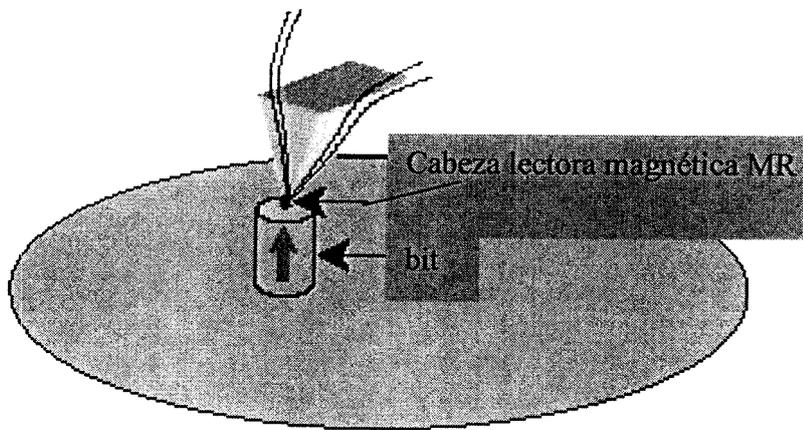


Figura 1

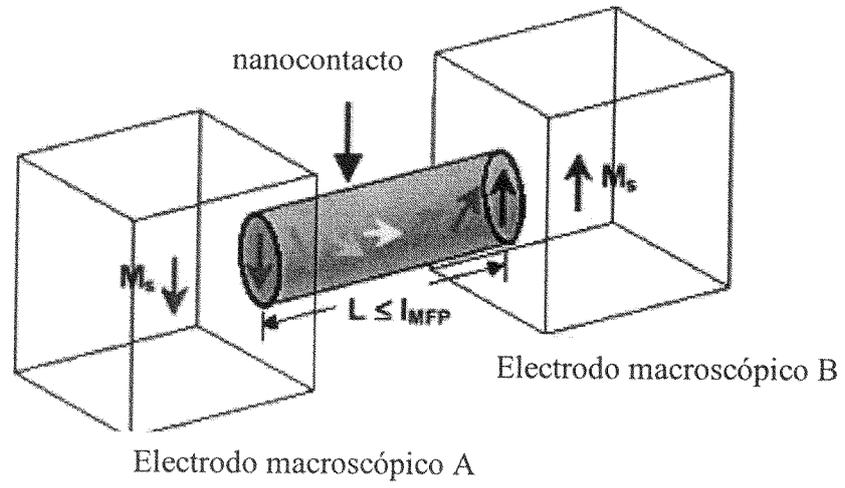


Figura 2

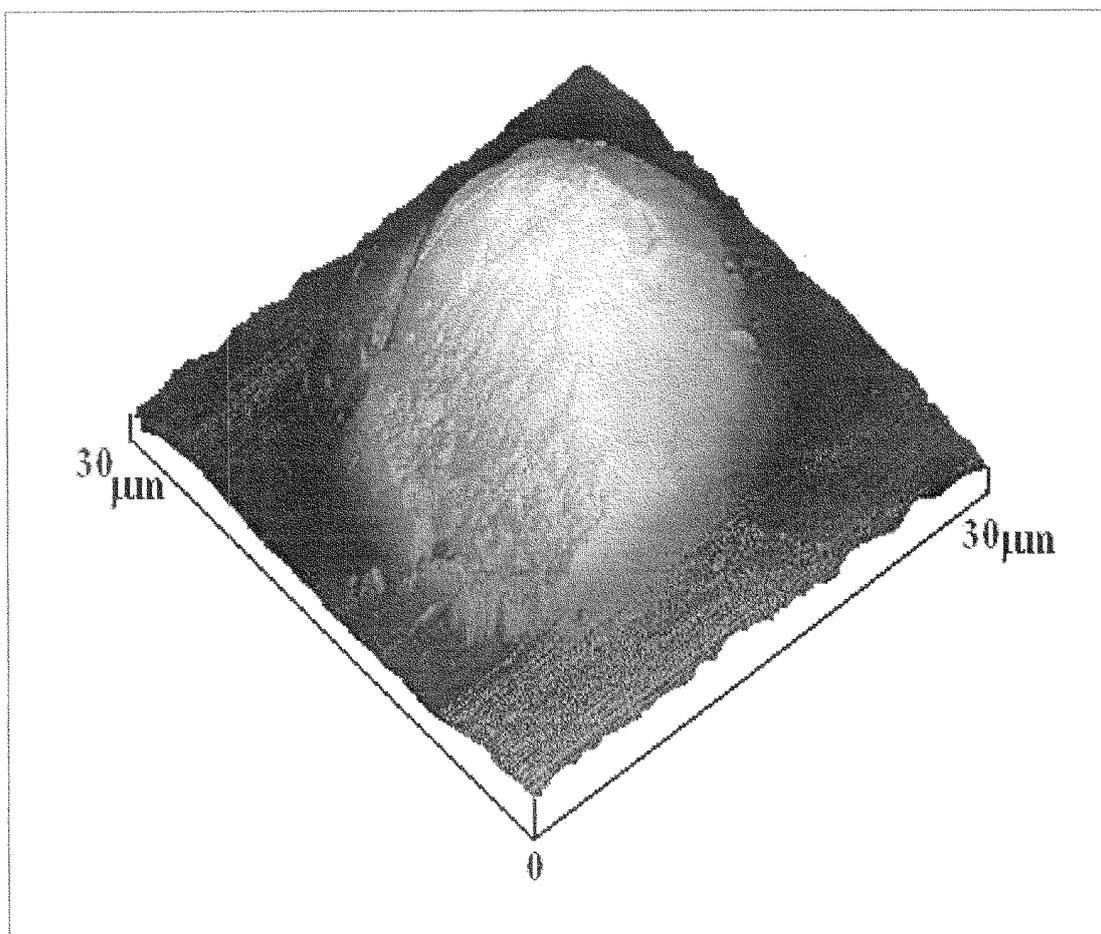


Figura 3

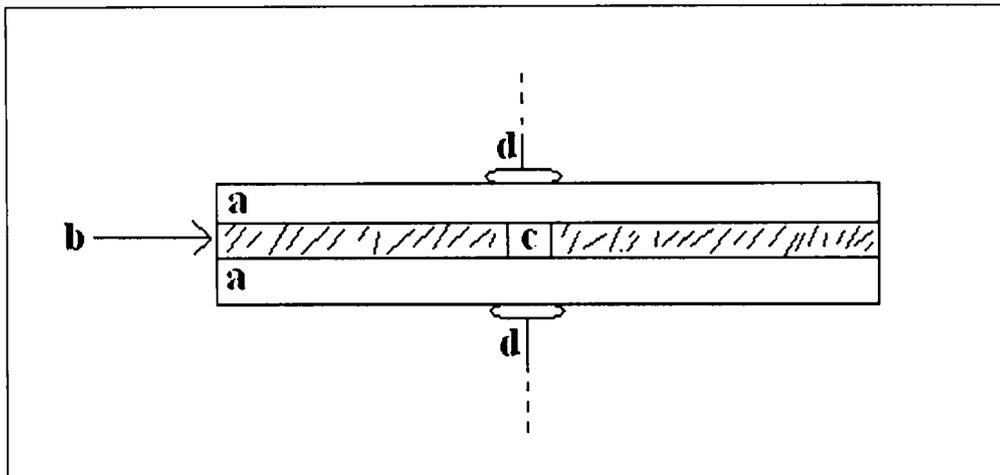


Figura 4

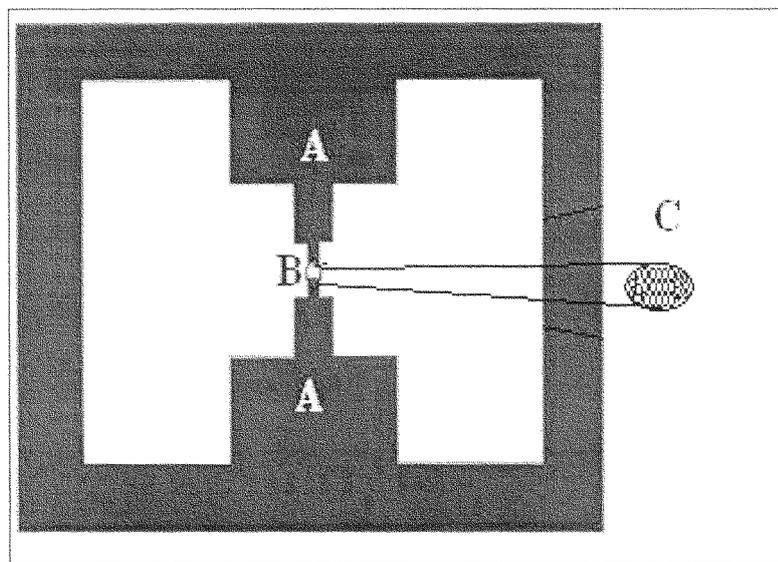


Figura 5

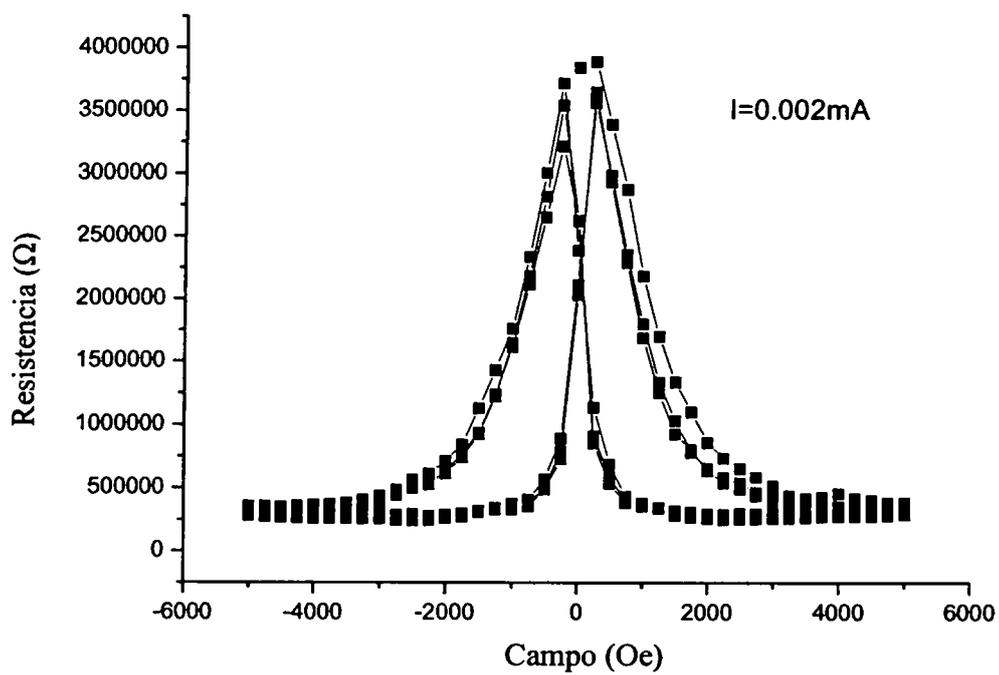


Figura 6

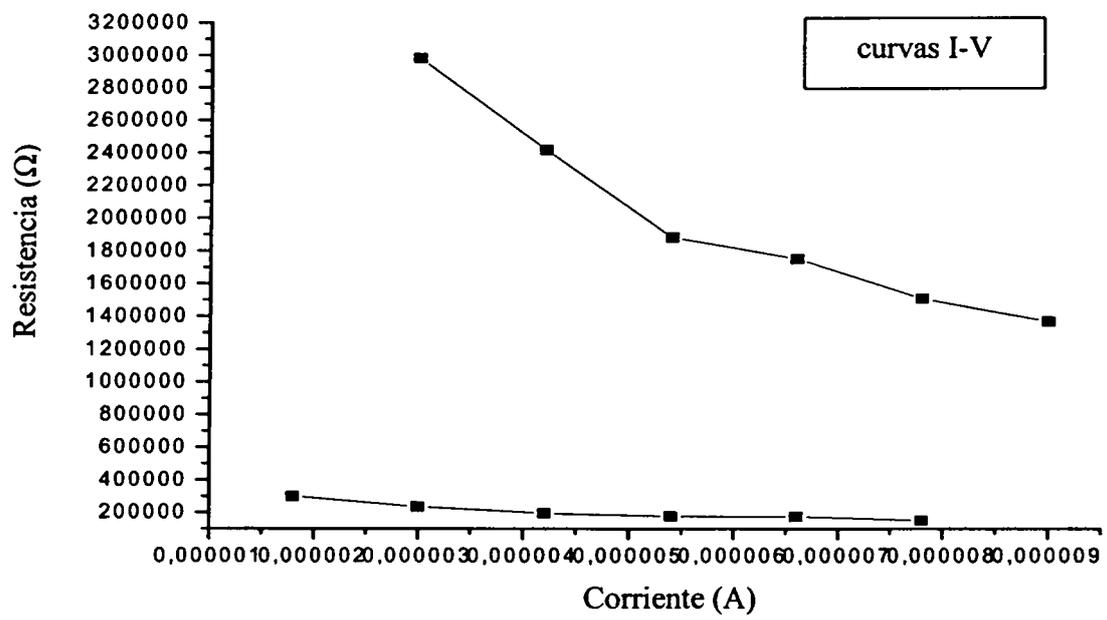


Figura 7



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 249 974

② Nº de solicitud: 200400486

③ Fecha de presentación de la solicitud: **01.03.2004**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **G11B 5/39** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	EP 1324316 A2 (FUJITSU LIMITED) 02.07.2003, resumen; columna 4, líneas 48-55; columna 6, líneas 15-53; columna 7, líneas 17-33,48-57; columna 9, línea 37 - columna 10, línea 7; columna 11, línea 9; columna 13, líneas 5-26; figura 2.	1-6,8-10
A	JP 2001014843 A (VICTOR CORPORATION OF JAPAN) 19.01.2001, todo el documento.	1,3-6,8
A	EP 0877398 A2 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 11.11.1998, todo el documento.	1-10

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

06.03.2006

Examinador

O. González Peñalba

Página

1/1