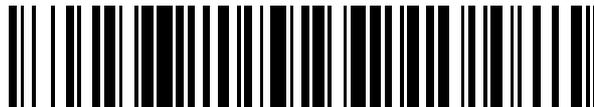


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 513**

51 Int. Cl.:

**G01R 33/06** (2006.01)

**H01L 43/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2009 E 09724160 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2016 EP 2276082**

54 Título: **Hilo magnetosensible, elemento de impedancia magnética y sensor de impedancia magnética**

30 Prioridad:

**28.03.2008 JP 2008085878**

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

**28.09.2016**

73 Titular/es:

**AICHI STEEL CORPORATION (100.0%)  
1, Wano-wari Arao-machi Tokai-shi  
Aichi 476-8666**

72 Inventor/es:

**HONKURA, YOSHINOBU;  
YAMAMOTO, MICHIHARU;  
HAMADA, NORIHIKO y  
SHIMODE, AKIHIRO**

74 Agente/Representante:

**ZUAZO ARALUZE, Alexander**

**ES 2 584 513 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).

**HILO MAGNETOSENSIBLE, ELEMENTO DE IMPEDANCIA MAGNÉTICA Y SENSOR DE IMPEDANCIA  
MAGNÉTICA**

**DESCRIPCIÓN**

5

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método de fabricación de un hilo magnetosensible, un hilo magnetosensible fabricado mediante este método y que tiene buenas características de histéresis, y a elemento de impedancia magnética (a continuación en el presente documento denominado un "elemento MI") o un sensor de impedancia magnética (a continuación en el presente documento denominado un "sensor MI") que emplea el hilo magnetosensible.

**Técnica anterior**

El artículo "Study of surface magnetic structure in Co-based amorphous microwires by means of off-diagonal magnetoimpedance effect" publicado por el Journal of Magnetism and Magnetic Materials 300 (2006) e37-e40 da a conocer un método novedoso para estudiar la estructura de dominio en microhilos amorfos basados en Co con una magnetostricción negativa. El método se basa en el denominado efecto de impedancia magnética fuera de la diagonal. Este efecto se refiere al proceso de magnetización cruzada. Debido a la existencia de un componente fuera de la diagonal distinto de cero del sensor de permeabilidad, una corriente de alta frecuencia provoca la variación de magnetización longitudinal. Según la ley de Faraday, induce la tensión en la bobina de exploración enrollada alrededor del microhilo, que es proporcional al componente fuera de la diagonal de la impedancia. La impedancia fuera de la diagonal es sensible a la estructura de dominio de superficie. Para microhilos con la anisotropía circular, la tensión de la bobina de exploración es distinta de cero dentro del intervalo del campo externo  $H_e < H_a$ , donde  $H_a$  es el campo anisótropo. Si el microhilo tiene la estructura de dominio de bambú, el hilo amorfo dado a conocer en esta publicación tiene, sin embargo, grandes características de histéresis de aproximadamente el 2 %.

En la figura 6, se muestra una vista en perspectiva que muestra esquemáticamente una estructura de dominio magnético dentro de un hilo amorfo que constituye tal hilo magnetosensible convencional. El hilo 9 magnetosensible está dividido en dos capas de una parte 91 de capa de superficie y una parte 92 de núcleo mediante una diferencia en la estructura de dominio magnético. En la parte 91 de capa de superficie, los espines se orientan en una determinada dirección circunferencial. Por tanto, la totalidad de espines se cierran como una circunferencia y, como resultado, no existe ninguna pared de dominio magnético en la parte 91 de capa de superficie.

Por otro lado, la parte 92 de núcleo, que se sitúa en el interior de la parte 91 de capa de superficie, tiene una estructura de dominio magnético múltiple y existen muchas paredes de dominio magnético en la parte 92 de núcleo. Además, las paredes de dominio magnético existen en el límite entre la parte 91 de capa de superficie y la parte 92 de núcleo, ya que la dirección de los espines respectivos varía de forma discontinua.

Puesto que, como se comentó anteriormente, la parte 91 de capa de superficie tiene una estructura de espines (alineación) en la que los espines se orientan en una dirección circunferencial determinada pero la parte 92 de núcleo tiene la estructura de dominio magnético múltiple, la totalidad del hilo 9 magnetosensible convencional tiene una estructura magnéticamente compuesta. Las paredes de dominio magnético existen en la estructura de dominio magnético múltiple de la parte 92 de núcleo y aquellas que existen en el límite entre la parte 91 de capa de superficie y la parte 92 de núcleo ha provocado la degradación de las características de histéresis del hilo 9 magnetosensible o de un sensor que emplea el mismo.

**Lista de citas**

**Bibliografía basada en documentos de patente**

[PTL 1]: Reedición doméstica de la solicitud internacional PCT n.º WO2005/019851

**Sumario de la invención**

**Problema técnico**

La presente invención se refiere a un método de fabricación de un hilo magnetosensible, un hilo magnetosensible fabricado mediante el método y que tiene buenas características de histéresis que es adecuado para sensores magnéticos y similares, y un elemento MI o un sensor MI que emplean el mismo.

**Solución al problema**

Los fenómenos de histéresis se producen porque las paredes de dominio magnético dentro de un hilo

magnetosensible que tiene una estructura de dominio magnético múltiple se mueven tras la aplicación de un campo magnético. Se observa que el término “estructura de espines de vórtice” usado a continuación define un modelo para interpretar los resultados experimentales en esta tecnología. Por tanto, los presentes inventores han diseñado una idea de cambiar la estructura de dominio magnético múltiple que tiene paredes de dominio magnético con una estructura de espines de vórtice que no tienen ninguna pared de dominio magnético, y que ha tenido éxito al obtener un hilo magnetosensible que puede describirse mediante el modelo de una estructura de espines de vórtice por primera vez. Como extensión a este logro, los presentes inventores han completado los siguientes aspectos de la presente invención.

«Hilo magnetosensible»

(1) Puede describirse un hilo magnetosensible de la presente invención que tiene una estructura de espines de vórtice.

La “estructura de espines de vórtice” mencionada en el presente documento significa una estructura que tiene una alineación de espines continuos en la que los espines respectivos en una parte de capa de superficie de hilo están alineados de manera continua en una dirección circunferencial determinada, aquellos en una parte interna en el interior de la parte de capa de superficie rotan gradualmente desde la dirección circunferencial hasta una dirección axial mientras se aproximan al centro del hilo amorfo, y aquellos en el centro del hilo se orientan en la dirección axial. Debe observarse que un “espín” mencionado en el presente documento significa momento magnético por átomo. La estructura de espines de vórtice puede comprender únicamente la estructura de la parte interna. Puede aumentarse o disminuirse la región que ocupa la parte interna dependiendo de la composición del hilo, esfuerzo interno y forma.

(2) La figura 1 es una vista en perspectiva en sección transversal que muestra esquemáticamente un hilo magnetosensible que tiene una estructura de espines de vórtice. Mientras que la sección A transversal es un plano perpendicular a la dirección axial del hilo, la sección B transversal es un plano de corte a lo largo de la línea central axial del hilo.

El hilo 1 magnetosensible comprende dos capas de una parte 11 de capa de superficie y una parte 12 interna que tiene diferentes alineaciones de espines. En primer lugar, se describirá la parte 11 de capa de superficie. En la parte 11 de capa de superficie de la sección A transversal, los espines se orientan en una dirección circunferencial determinada. Por tanto, la totalidad de espines se alinean y cierran de manera continua (se hacen circular o fluir de nuevo) en la dirección circunferencial, de forma que no existe ninguna pared de dominio magnético en la parte 11 de capa de superficie. Los espines respectivos que existen en la región X1-X2-X3-Y1 (indicada por la línea X1-X5 como un ejemplo típico en la figura 1) de la sección B transversal que constituye la parte 11 de capa de superficie tienen la misma alineación que aquellos de la superficie más externa de la parte 11 de capa de superficie.

A continuación, se describirá la alineación de espines de la parte 12 interna. En una región Y1-X3-X6-Y3 (indicada por la línea X5-X6 como un elemento típico en la figura 1) de la sección B transversal, los espines que existen en el límite (X5) entre la parte 11 de capa de superficie y la parte 12 interna se orientan en la misma dirección que aquellos en la parte 11 de capa de superficie. A medida que los espines van desde X5 hasta X6, es decir, se aproximan al centro axial, la dirección de los espines se inclina gradualmente desde la dirección circunferencial hasta la dirección axial, de modo que la dirección de los espines en el centro (X6) axial coincide con la dirección axial (la dirección de línea central del hilo 1 magnetosensible). Tal alineación de inclinación de espines también existe en la línea Y1-Y2 de la sección B o en cualquier parte de la región Y1-X3-X6-Y3 de la sección B transversal.

De esta manera, no existe ninguna pared de dominio magnético en la parte 12 interna del hilo 1 magnetosensible según la presente invención. De manera similar, los espines se alinean de manera continua y no existe ninguna pared de dominio magnético en el límite entre la parte 11 de capa de superficie y la parte 12 interna. Tal alineación de la totalidad de espines se denomina una “estructura de espines de vórtice” en la presente invención. Debe observarse que la “alineación de espines” mencionada en la descripción de la presente invención significa principalmente condición de distribución de momento magnético de los espines respectivos, pero la “alineación de espines” se denomina a veces simplemente “espines”.

(3) El hilo magnetosensible de la presente invención se usa, por ejemplo, en un sensor MI. La exposición a grandes rasgos del sensor MI es como sigue:

Todos los espines se inclinan en la dirección de un campo magnético aplicado, según la magnitud del campo magnético aplicado. Cuando la corriente de pulso se hace pasar a través de un hilo magnetosensible, se forma un campo magnético en la dirección circunferencial del hilo magnetosensible mediante la corriente de pulso y se hace que los espines en el hilo magnetosensible se orienten en la dirección circunferencial. Un sensor MI detecta este cambio rotacional en la dirección de los espines del hilo magnetosensible mediante una bobina de exploración, o detecta una variación en la impedancia de hilo.

«Constitución adicional del hilo magnetosensible»

Se describirá una constitución que se realiza adicionalmente en la presente invención. Debe observarse que la siguiente descripción se aplica de manera apropiada no solo en el hilo magnetosensible según la presente invención sino también en un elemento MI o un sensor MI que emplea el mismo. El hilo magnetosensible de la presente invención puede constituirse añadiendo una o más características constituyentes seleccionadas de manera arbitraria a partir de las siguientes a la constitución mencionada anteriormente. Qué realización es la mejor depende del objetivo de la aplicación, rendimiento requerido, etc.

(1) El grosor de la parte interna ("d" de la parte interna 11 en la figura 1) puede aumentarse como máximo hasta el radio del hilo.

La estructura de espines de vórtice de la presente invención no es una estructura bidimensional tal como una película delgada en el campo de los nanopuntos, sino una estructura tridimensional. Esta estructura tridimensional de espines de vórtice se da a conocer por primera vez mediante la presente invención.

A diferencia de una estructura tridimensional convencional alrededor de la cual no solo se detecta la rotación de espines sino también el movimiento de las paredes de dominio magnético, la estructura de espines de vórtice de la presente invención no tiene ninguna pared de dominio magnético o dominio magnético. Por tanto, el sensor MI de la presente invención puede detectar absolutamente solo la rotación de espines y tiene un buen efecto de histéresis cero. Por tanto, puede decirse que la presente invención es un hilo magnetosensible que no tiene ninguna pared de dominio magnético o dominio magnético.

Además, el hilo magnetosensible de la presente invención comprende una aleación magnética blanda cuya fase principal es amorfa y que tiene preferiblemente magnetostricción cero. Esto hace posible describir el hilo magnetosensible mediante el modelo de una estructura de espines de vórtice o un hilo magnetosensible que no tiene ninguna pared de dominio magnético o dominio magnético.

El término "magnetostricción cero" mencionado en el presente documento significa que un valor absoluto de magnetostricción es menor de  $10^{-6}$ . Por ejemplo, en la página 13 de "Jiki Sensa Rikougaku (Magnetic Sensor Technology)" publicado por Corona Publishing Co. Ltd. en Japón, hay una descripción "cuando la razón Fe/Co de  $(\text{CoFe})_{80}(\text{SiB})_{20}$  es de aproximadamente 0,07, un valor absoluto de magnetostricción es menor de  $10^{-6}$ , y este nivel de magnetostricción se define como magnetostricción cero". Por consiguiente, este nivel también se define como magnetostricción cero en la presente invención, tal como se mencionó anteriormente. El hilo magnetosensible comprende una aleación de Co-Fe-Si-B que tiene magnetostricción cero.

(2) Se mostrará a continuación un ejemplo de métodos para producir un hilo magnetosensible que puede describirse mediante una estructura de espines de vórtice.

Este hilo magnetosensible se produce, por ejemplo, controlando adecuadamente los componentes de aleación, el diámetro de hilo y el esfuerzo interno. Una aleación que ha de usarse es un material de aleación de Co-Fe-Si-B que tiene preferiblemente magnetostricción cero.

Con un aumento en el diámetro de hilo, la formación de una estructura de espines de vórtice se vuelve más difícil. Cuando el diámetro supera  $15 \mu\text{m}$ , se forma fácilmente una estructura de domino magnético múltiple en el interior del hilo magnetosensible. Por tanto, es deseable que el diámetro de hilo no sea mayor de  $15 \mu\text{m}$ .

Además, cuando el diámetro de hilo es menor de  $0,5 \mu\text{m}$ , el volumen del hilo disminuye y la sensibilidad del sensor se deteriora de manera que es difícil para el hilo funcionar como un sensor. Por tanto, es preferible que el hilo magnetosensible de la presente invención tenga un diámetro de, por ejemplo,  $0,5$  a  $15 \mu\text{m}$ .

El esfuerzo interno se controla, por ejemplo, aplicando un tratamiento térmico al hilo con una tensión mecánica aplicada (a continuación en el presente documento denominado "recocido con tensión mecánica"), aplicando el tratamiento térmico al hilo con una corriente eléctrica que pasa a través del mismo. Estos tratamientos térmicos se aplican por debajo de una temperatura en la que la fase amorfa se cambia completamente hacia la fase cristalina.

«Elemento MI »

(1) La presente invención es también un elemento de impedancia magnética que usa el hilo magnetosensible mencionado anteriormente como un detector magnético. La presente invención también puede entenderse como un elemento de impedancia magnética que usa el hilo magnetosensible que no tiene ninguna pared de dominio magnético o dominio magnético como un detector magnético.

El elemento MI de la presente invención puede ser justo lo que se prepara sustituyendo solo el hilo magnetosensible que sirve como un detector magnético por el hilo magnetosensible mencionado anteriormente de la presente invención en un elemento MI convencional conocido.

Se conoce la mejor constitución de un elemento MI, por ejemplo, en las publicaciones internacionales n.º

WO2003/071299 y WO2005/019851, y las publicaciones de patentes no examinadas japonesas n.ºs 2005-227297 y H07-181239. La constitución conocida de estas publicaciones y otras constituciones conocidas pueden aplicarse al sensor MI de la presente invención.

5 El elemento MI de la presente invención incluye, por ejemplo, un sustrato, el hilo magnetosensible mencionado anteriormente de la presente invención, un aislador que recubre el hilo magnetosensible, una bobina de detección enrollada alrededor del hilo magnetosensible, y terminales de electrodo que se extienden desde el hilo magnetosensible y la bobina de detección.

10 (2) Se inclinan los espines respectivos dentro del hilo magnetosensible del elemento MI en la dirección de un campo magnético externo según la magnitud del campo magnético externo. Cuando se suministra ahí una corriente de pulso de alta frecuencia de aproximadamente 50 a 250 MHz generada por un circuito de oscilación de pulso, se forma un campo magnético en una dirección circunferencial del hilo magnetosensible y los espines en el hilo magnetosensible rotan en la dirección circunferencial. El sensor MI detecta este cambio en la dirección de estos espines mediante una bobina de detección o detecta una variación en la impedancia del hilo. Cuando se interrumpe la corriente de pulso anteriormente mencionada, se producen cambios similares y pueden detectarse estos cambios. Al usar el elemento MI de la presente invención en un sensor MI, pueden exhibirse los siguientes efectos beneficiosos.

20 «Sensor MI»

(1) La presente invención puede entenderse no solo como el hilo magnetosensible o el elemento MI mencionado anteriormente si no como un sensor MI que los emplea. El sensor MI de la presente invención puede ser justo el que se prepara sustituyendo solo un hilo magnetosensible que sirve como un detector magnético por el hilo magnetosensible mencionado anteriormente de la presente invención en un sensor MI convencional conocido. El sensor MI de la presente invención comprende, por ejemplo, el hilo magnetosensible de la presente invención, una bobina de detección enrollada alrededor del hilo magnetosensible, un circuito de oscilación de pulso para aplicar una corriente de pulso al hilo magnetosensible, y un circuito de procesamiento de señales para convertir una tensión detectada por la bobina de detección en una señal correspondiente a la magnitud de un campo magnético externo.

30 (2) Debido al uso del hilo magnetosensible mencionado anteriormente, el sensor MI de la presente invención tiene características de histéresis tan buenas que la histéresis detectada por el sensor MI es casi cero. El sensor MI de la presente invención tiene una buena linealidad de las características de tensión de salida con respecto al campo magnético aplicado en un intervalo de mediciones.

35 Se conoce también la propia constitución de un sensor MI por las publicaciones mencionadas anteriormente y etc., y la constitución conocida de esas publicaciones y otras constituciones conocidas pueden aplicarse al sensor MI de la presente invención. Debe observarse que el sensor MI de la presente invención puede obtener también efectos similares detectando directamente una variación en la impedancia del hilo magnetosensible.

40 **Efectos ventajosos de la invención**

Tal como se mencionó anteriormente, tras sustituir un sensor magnetosensible de un elemento MI convencional o sensor MI por el hilo magnetosensible de la presente invención, el elemento MI o el sensor MI de la presente invención exhibe características de histéresis tan buenas que la histéresis detectada por el sensor MI es casi cero.

Además, un sensor MI que usa el hilo magnetosensible de la presente invención mejora enormemente en cuanto a la linealidad de las características de tensión de salida con respecto a un campo magnético aplicado en un intervalo de mediciones cuando se compara con un sensor MI que usa un hilo magnetosensible convencional.

50 **Breve descripción de los dibujos**

[Figura 1]

55 La figura 1 es una vista en perspectiva en sección transversal que muestra esquemáticamente el modelo de una estructura de espines de vórtice que describe un hilo magnetosensible según la presente invención.

[Figura 2]

60 La figura 2 es un diagrama conceptual frontal que muestra un elemento MI de un ejemplo de la presente invención.

[Figura 3]

65 La figura 3 es un diagrama conceptual que muestra circuitos eléctricos de un sensor MI de un ejemplo de la presente invención.

[Figuras 4]

5 Las figuras 4 son vistas a modo de explicación que ilustran cómo calcular una frecuencia a partir de un tiempo de ascenso o un tiempo de caída de la corriente de pulso usada en un elemento MI o un sensor MI de la presente invención.

[Figuras 5]

10 Las figuras 5 son diagramas de características MI según un ejemplo de la presente invención y un ejemplo convencional.

[Figura 6]

15 La figura 6 es una vista en perspectiva que muestra esquemáticamente una estructura de material compuesto magnética dentro de un hilo magnetosensible de un ejemplo convencional.

### Lista de signos de referencia

- 20 1 un hilo magnetosensible (un ejemplo)  
11 una parte de capa de superficie  
12 una parte interna  
25 2 un elemento MI  
3 una bobina de detección  
4 un aislador  
30 51 electrodos  
52 electrodos  
35 6 un sensor MI  
61 un circuito de oscilación de pulso  
62 un circuito de procesamiento de señales  
40 7 forma de onda de corriente de pulso  
9 un hilo magnetosensible (un ejemplo convencional)  
45 91 una parte de capa de superficie  
92 una parte de núcleo

50 10 un sustrato

### Descripción de realizaciones

55 Se describirán realizaciones de la presente invención en comparación con un ejemplo convencional, cuando sea apropiado. Debe observarse que la presente invención no se limita a los ejemplos siguientes.

«Constitución»

(1) Hilo magnetosensible

60 Se usó un hilo amorfo de diámetro 11,6  $\mu\text{m}$  que tiene una composición de aleación de  $\text{Co}_{71,2}\text{Fe}_{4,8}\text{Si}_{11,8}\text{B}_{12,2}$  (% atómico) y producido mediante un método de Taylor mejorado como un material de muestra de un hilo magnetosensible según un ejemplo de la presente invención. Este hilo amorfo que sirve como material de muestra se sometió a tratamiento térmico durante 7 segundos en una temperatura de atmósfera de 520 grados C con una tensión mecánica aplicada de 200 MPa (ejemplo 1).

65 También se preparó, como un ejemplo convencional, un hilo amorfo que tiene una estructura de espines en la que

los espines están alineados en una determinada dirección circunferencial en una parte de capa de superficie como la parte 91 de capa de superficie en la figura 6, y una estructura de dominio magnético múltiple en una parte interna (producido por UNITIKA Ltd.). Este hilo amorfo se produjo mediante un procedimiento de giro de líquido en rotación y tiene una composición de aleación de  $(\text{Co}_{94}\text{Fe}_6)_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$  (% atómico) y un diámetro de  $20\ \mu\text{m}$  y se sometió a un recocido con tensión mecánica.

Se preparó también otro hilo amorfo que tiene un diámetro reducido de  $13\ \mu\text{m}$  corroyendo el hilo amorfo mencionado anteriormente usado como el ejemplo convencional (ejemplo 2).

(2) Elemento MI

Se describirá la constitución de un elemento 2 MI de un ejemplo según la presente invención con referencia al diagrama conceptual de la figura 2.

En primer lugar, se instala una bobina 3 de detección dispuesta alrededor de un hilo 1 magnetosensible a través de un aislador 4 (no mostrado) sobre un sustrato 10. Se conectan ambos extremos del hilo 1 magnetosensible a los electrodos 51 para aplicar una corriente de pulso. La bobina 3 de detección se conecta a los electrodos 52 para detectar una tensión que varía dependiendo de un campo magnético externo. El hilo 1 magnetosensible tiene una longitud de 0,6 mm y la bobina 3 de detección tiene 15 vueltas de bobina. La constitución mostrada en este caso es simplemente un ejemplo y pueden emplearse otras constituciones conocidas del elemento MI.

(3) Sensor MI

Se describirán circuitos eléctricos de un sensor 6 MI de un ejemplo según la presente invención con referencia a la figura 3. El sensor 6 MI comprende el elemento 2 MI, un circuito 61 de oscilación de pulso, y un circuito 62 de procesamiento de señales. El sensor 6 funciona como sigue.

Se suministra una corriente de pulso de alta frecuencia de aproximadamente 50 a 250 MHz generada por el circuito 61 de oscilación de pulso al hilo 1 magnetosensible en el elemento 2 MI. Entonces, debido a la acción de un campo magnético externo y un campo magnético formado por la corriente de pulso en una dirección circunferencial del hilo, se genera una tensión basada en la rotación de los espines en el hilo 1 magnetosensible en la bobina 3 de detección.

La frecuencia de esta tensión se calcula obteniendo, en primer lugar, un tiempo de ascenso o un tiempo de caída  $\Delta t$  en una forma 7 de onda de corriente de pulso, tal como se muestra en la figura 4(a), y obteniendo entonces el tiempo de ciclo a partir del tiempo  $\Delta t$ , asumiendo que el tiempo  $\Delta t$  es un cuarto del tiempo de ciclo de forma de onda, tal como se muestra en la figura 4(b).

A continuación, después de que la corriente de pulso anteriormente mencionada haya ascendido, se conmuta un conmutador 622 analógico (encendido y apagado) en un tiempo corto en una temporización determinada mediante un circuito 621 de control de temporización de muestra. Esta conmutación permite que el conmutador 622 analógico muestree una tensión correspondiente al campo magnético externo y generada en la bobina 3 de detección y transmita la tensión a un amplificador 623. Se realizan operaciones similares cuando se interrumpe (cae) la corriente de pulso.

La constitución mostrada en este caso es simplemente un ejemplo y pueden emplearse otros circuitos eléctricos conocidos para los sensores MI.

<<Medición>>

Se evaluaron las características de impedancia magnética (MI) de este ejemplo situando el sensor 6 MI en campos magnéticos de  $\pm 2400\ \text{A/m}$ , 10Hz e introduciendo una corriente de pulso de 80 mA correspondiente a una frecuencia de 0,2 GHz al hilo 1 magnetosensible del elemento 2 MI, procesando las señales de tensión generadas en la bobina 3 de detección en el circuito 62 de procesamiento de señales mencionado anteriormente para medir tensiones de la salida de campos magnéticos respectivos a partir de la bobina 3 de detección.

El tiempo de ascenso y el tiempo de caída de la corriente de pulso fueron ambos de 1,25 ns. Aunque se detectó la tensión usando la caída de corriente de pulso, la tensión puede detectarse usando el ascenso o tanto el ascenso como la caída.

<<Evaluación>>

(1) En relación con el ejemplo 1 mencionado anteriormente y el ejemplo convencional, se muestran los resultados obtenidos mediante las mediciones mencionadas anteriormente en las figuras 5 y la tabla 1. Los resultados de mediciones del ejemplo 1 se muestran en la figura 5(a) y aquellos del ejemplo convencional se muestran en la figura

5(b). En los bucles en las figuras 5, se definió una diferencia en campo magnético aplicado en una tensión de salida de bobina de 2,5 V como características de histéresis.

Como es evidente a partir de los resultados de mediciones mostrados en la figura 5(a), el ejemplo 1 tenía características de histéresis de 2 A/m, que era inferior a la potencia de detección (7 A/m) del dispositivo de detección. Esto indica que las características de histéresis eran casi cero. Esto demuestra que el hilo magnetosensible según la presente invención es deseable por el modelo de una estructura de espines de vórtice que no tiene pared magnética.

Por otro lado, como es evidente a partir de los resultados de mediciones mostrados en la figura 5(b), el ejemplo convencional tiene características de histéresis de 33,4 A/m.

(2) La linealidad es también un parámetro importante como uno de rendimiento práctico de un sensor magnético.

Como es evidente a partir de los resultados de mediciones mostrados en la figura 5(a), el ejemplo 1 tenía una linealidad de 0,7% F. S. en un 30 % del intervalo de campo magnético aplicado que muestra tensiones de pico (en un intervalo de campo magnético aplicado de  $\pm 485$  A/m en el ejemplo 1). Esto no era más que un décimo de la linealidad (7,7% F. S.) del ejemplo convencional mostrado en la figura 5(b). Obsérvese que "F.S." quiere decir escala completa.

Debe observarse que la evaluación de linealidad se llevó a cabo en este caso evaluando la linealidad de la tensión de salida con respecto al campo magnético aplicado en el 30 % del intervalo de campo magnético aplicado que muestra valores de pico de tensión de salida de bobina (en un intervalo de campo magnético aplicado de  $\pm 485$  A/m en el ejemplo 1, y en un intervalo de campo magnético aplicado de  $\pm 377$  A/m en el ejemplo convencional). La evaluación de linealidad se llevó a cabo mediante el método n.º 2623 de JIS B0155 en los intervalos de medición respectivos.

(3) Se confirmó que un sensor MI que usa el hilo magnetosensible según el ejemplo 2 así como el sensor MI que usa el hilo magnetosensible según el ejemplo 1 tenía buenas características de histéresis (3 A/m), que eran aparentemente diferentes de aquellas del sensor MI que usa el ejemplo convencional, y la linealidad mencionada anteriormente (0,8% F.S.). Esto demuestra que el hilo magnetosensible según el ejemplo 2 es deseable por el modelo de una estructura de espines de vórtice que no tienen ninguna pared de dominio magnético.

<<La presente invención>>

Basándose en las realizaciones o ejemplos mencionados anteriormente, la constitución de la presente invención puede expresarse de manera más concreta mediante lo siguiente. Debe observarse que la siguiente descripción se realizará en relación con un hilo magnetosensible pero también será verdadera con un elemento MI o un sensor MI.

(1) Composición de aleación

Tal como se mencionó anteriormente, el hilo magnetosensible comprende una aleación de Co-Fe-Si-B, que tiene preferiblemente magnetostricción cero.

La aleación de Co-Fe-Si-B comprende del 60 al 80 % atómico de Co, del 3 al 7 % atómico de Fe, del 5 al 20 % atómico de Si y del 7 al 30 % atómico de B cuando toda la composición de aleación se considera como un 100 % atómico. Es más preferible que la aleación de Co-Fe-Si-B comprenda del 65 al 75 % atómico de Co, del 4 al 6 % atómico de Fe, del 7 al 15 % atómico de Si y del 10 al 20 % atómico de B. Debe observarse que un valor de límite superior o un valor de límite inferior de un intervalo de composición de cada elemento puede ser cualquier valor en los intervalos de valores numéricos mencionados anteriormente.

No se necesita decir que el hilo magnetosensible de la presente invención puede contener impurezas inevitables.

(2) Tratamiento térmico

El hilo magnetosensible de la presente invención comprende un hilo amorfo que comprende una aleación que tiene una composición tal como se mencionó anteriormente. Tras aplicar el tratamiento térmico apropiado a tal hilo amorfo, puede describirse no solo una parte de capa de superficie del hilo sino también una parte interna del hilo mediante el modelo de una estructura de espines de vórtice. Preferiblemente, este tratamiento térmico es un tratamiento térmico en un intervalo de temperaturas en el que el hilo amorfo no se cristaliza completamente, en una atmósfera de gas inerte o una atmósfera de vacío. La temperatura de calentamiento es de 500 a 600 grados C. El tiempo de calentamiento es de 4 a 10 segundos. Con este tratamiento térmico, se aplica tensión mecánica al hilo. La finalidad de esta aplicación de tensión mecánica es provocar un esfuerzo interno en el hilo amorfo.

La tensión mecánica que ha de aplicarse es de 30 a 2000 MPa.

(3) Características del hilo magnetosensible

En primer lugar, es preferible que el hilo magnetosensible tenga características de histéresis de no más de 7 A/m, no más de 5 A/m, o no más de 3 A/m. Estos niveles pueden considerarse sustancialmente como histéresis cero.

5 A continuación, es preferible que el hilo magnetosensible tenga una linealidad de no más del 2% F.S., no más del 1,5% F.S., no más del 1% F.S., o no más del 0,8% F.S. en el 30 % de un intervalo de campo magnético aplicado específico mediante los campos magnéticos aplicados correspondientes a tensiones de pico detectadas por el sensor MI.

10 Debe observarse que la expresión “de x a y” mencionada en la descripción de la presente invención incluye el valor x de límite inferior y el valor y de límite superior, a menos que se especifique lo contrario. Los valores de límite inferior y los valores de límite superior descritos en la descripción de la presente invención pueden combinarse de manera arbitraria para constituir un intervalo de este tipo como “de a a b”. Además, los valores de límite superior o los valores de límite inferior pueden sustituirse por cualquier valor en los intervalos de valores numéricos descritos.

15 **Aplicabilidad industrial**

Debido a la histéresis casi cero, un tamaño muy pequeño y alta sensibilidad, el hilo magnetosensible, el elemento MI y el sensor MI de la presente invención pueden aplicarse a un microsensor magnético para dispositivos electrónicos de tamaño pequeño tales como teléfonos móviles.

20

Tabla 1

|                  | Diámetro de hilo (μm) | Características MI                 |                     | Estructura de dominio magnético  |
|------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------|--|
|                  |                       | Característica de histéresis (A/m) | Linealidad (% F.S.) |  |
| Ej.1             | 11,6                  | 2                                  | 0,7                 | Estructura de espines de vórtice                                       |
| Ej.2             | 13                    | 3                                  | 0,8                 | Estructura de espines de vórtice                                       |
| Ej. convencional | 20                    | 33,4                               | 7,8                 | Anisotropía circunferencial + estructura de dominio magnético múltiple |

**REIVINDICACIONES**

1. Método de fabricación de un hilo magnetosensible que comprende  
5 proporcionar un hilo amorfo que comprende una aleación magnética blanda de Co-Fe-Si-B que comprende del 60 al 80 % atómico de Co, del 3 al 7 % atómico de Fe, del 5 al 20 % atómico de Si y del 7 al 30 % atómico de B cuando toda la composición de aleación se considera como un 100 % atómico, y  
10 tratar térmicamente el hilo amorfo en un intervalo de temperaturas en el que el hilo amorfo no se cristaliza completamente mientras se aplica tensión mecánica en el intervalo de 30 a 2000 MPa al hilo amorfo, caracterizado porque el hilo amorfo se trata térmicamente en un intervalo de temperaturas de 500°C a 600°C y el tiempo de calentamiento para el tratamiento térmico está en el intervalo de 4 a 10 segundos.
- 15 2. Método de fabricación de un hilo magnetosensible según la reivindicación 1, en el que el tratamiento térmico se realiza en una atmósfera de gas inerte o en una atmósfera de vacío.
- 20 3. Hilo magnetosensible fabricado mediante un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, que tiene un diámetro en el intervalo de 0,5 a 15  $\mu\text{m}$  y que tiene una magnetostricción menor de  $10^{-6}$ .
4. Elemento de impedancia magnética que incluye el hilo magnetosensible según la reivindicación 3 como detector magnético.
- 25 5. Sensor de impedancia magnética que incluye el elemento de impedancia magnética según la reivindicación 4.

FIG.1

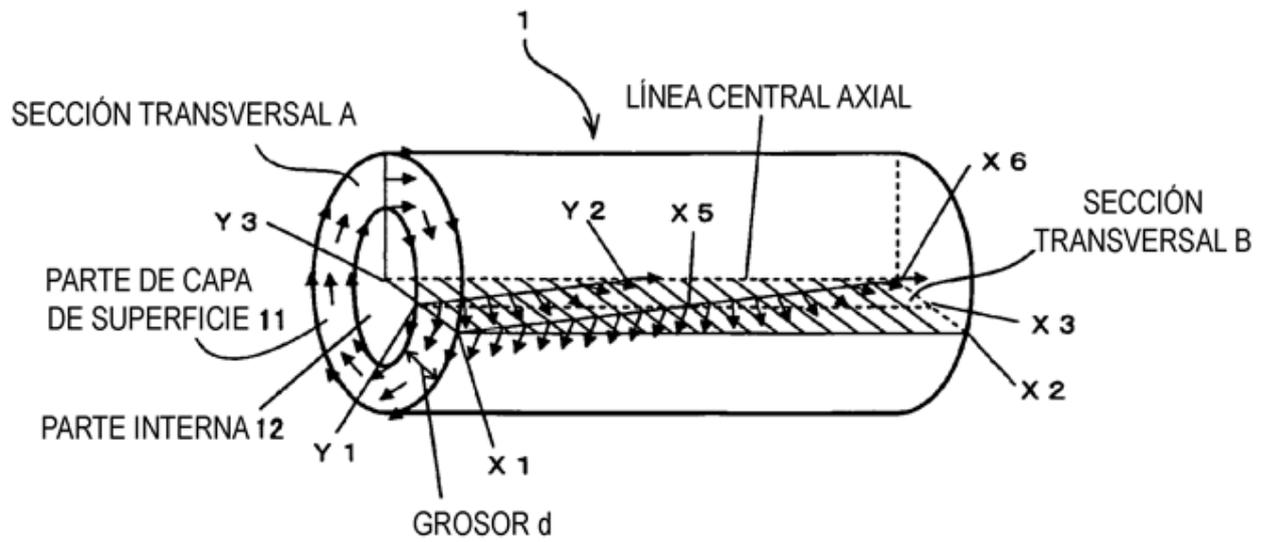


FIG.2

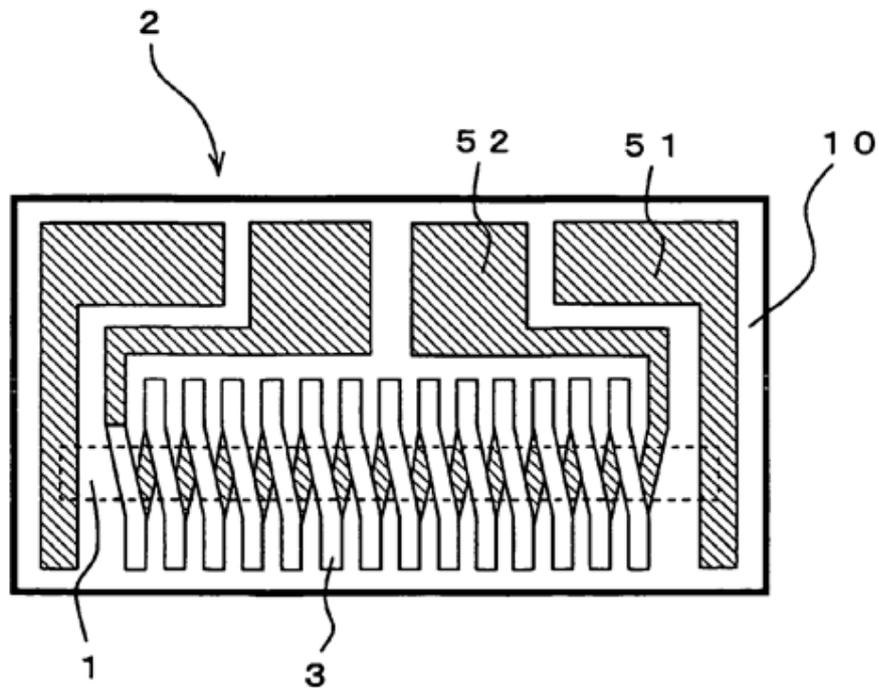


FIG.3

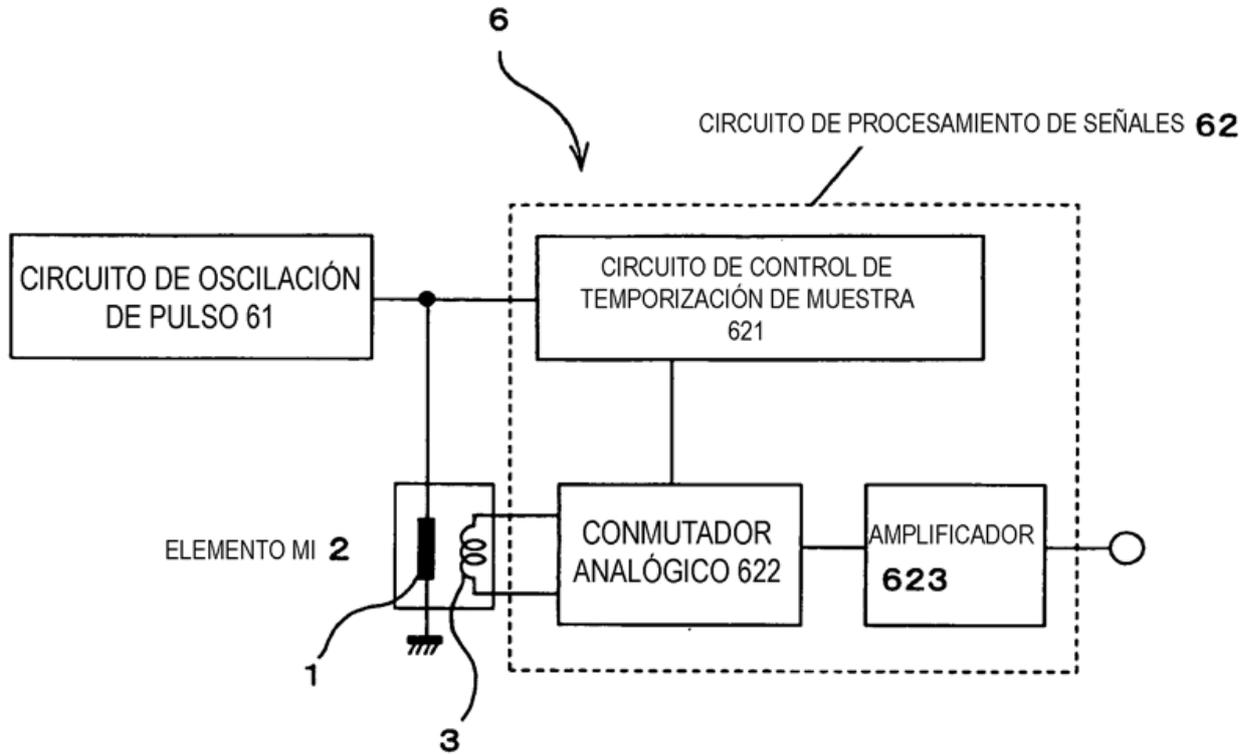


FIG.4

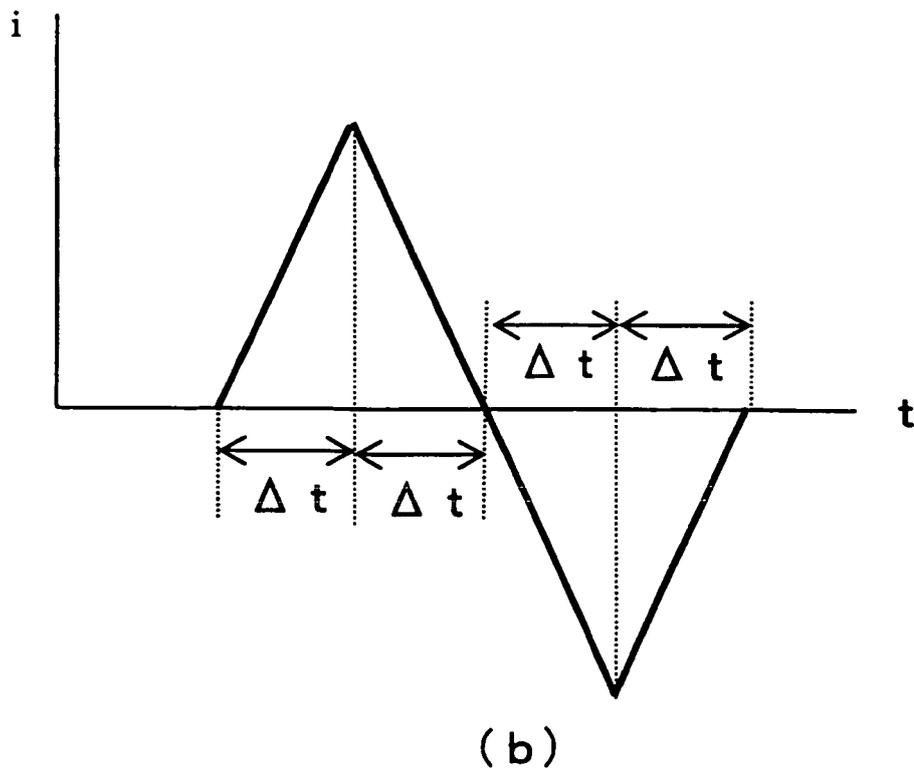
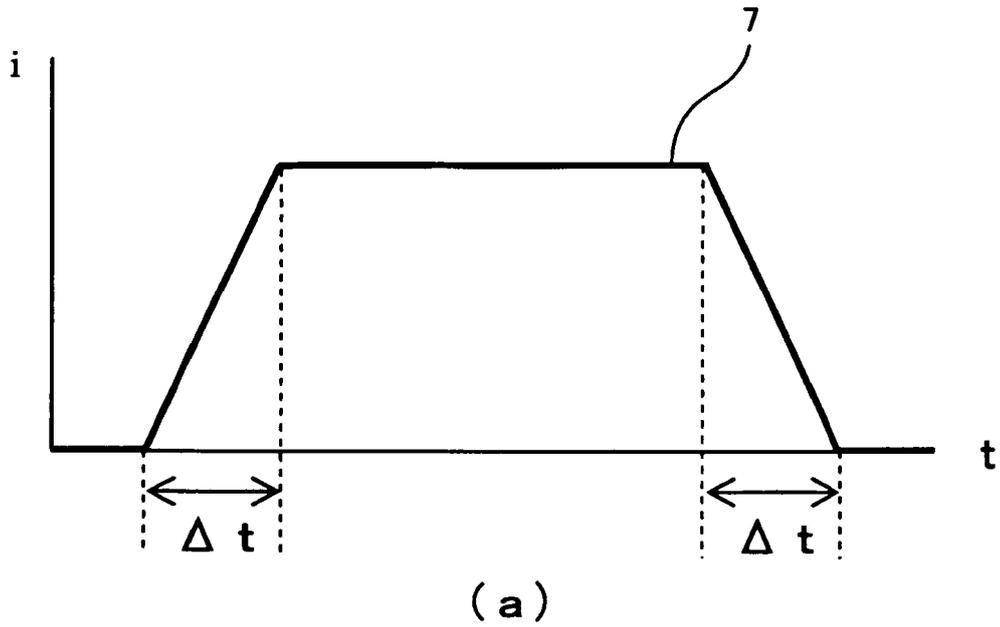
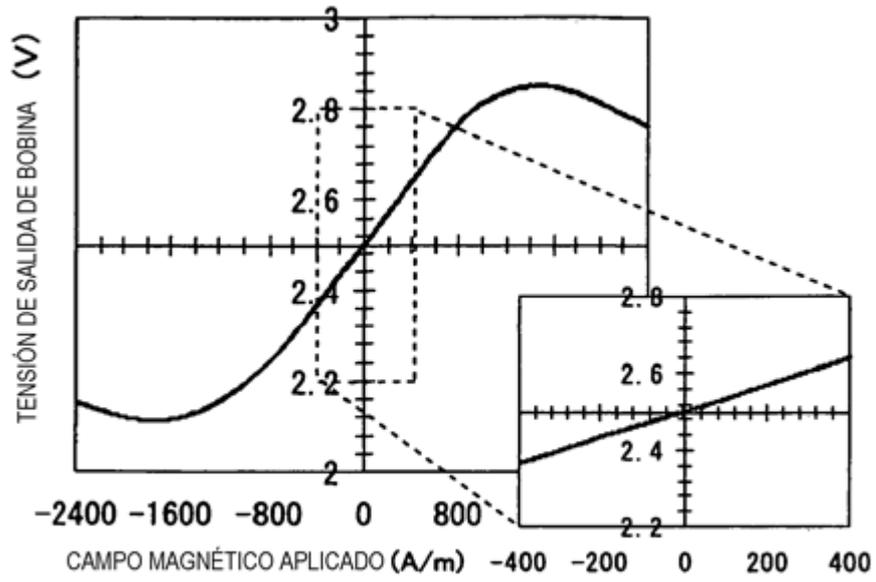
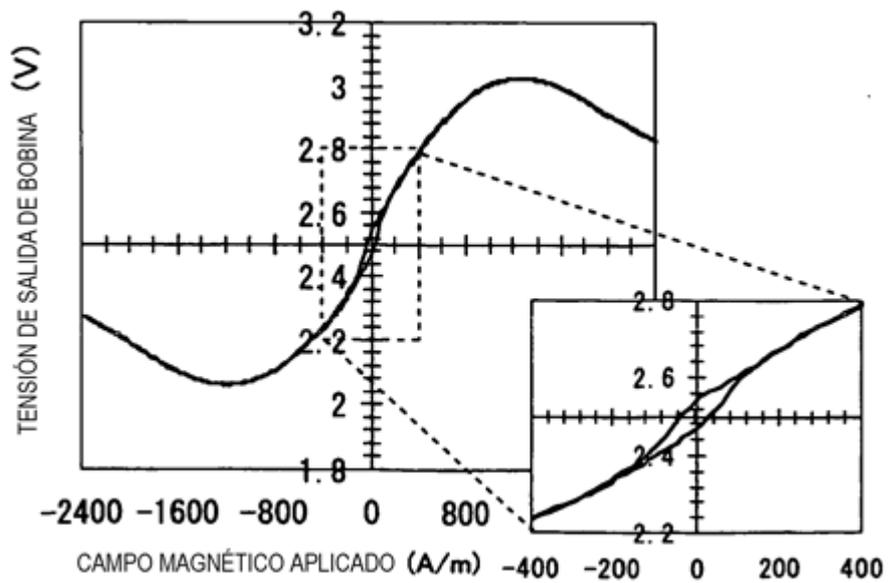


FIG.5



(a)



(b)

FIG.6

