



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 007 421 B4 2006.02.23**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 007 421.6**

(22) Anmeldetag: **16.02.2004**

(43) Offenlegungstag: **01.09.2005**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **23.02.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 43/08 (2006.01)**
G01R 33/09 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Rührig, Manfred, Dr., 90542 Eckental, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 197 39 550 C1

DE 101 49 737 A1

US 57 47 997 A

**Mengel, S.: "XMR-Technologien"-
 Technologieanalyse:**

Magnetismus, Band 2, in:

VDT-Technologiezentrum

Physikalische Technologien, 1997, S.11-46;

(54) Bezeichnung: **XMR-Dünnschichtensensorelement mit zusätzlichen magnetfelderzeugenden Mitteln**

(57) Hauptanspruch: XMR-Dünnschichtensensorelement mit einer Schichtenfolge, die zumindest

– eine magnetische Messschicht zur Detektion eines externen Magnetfeldes,

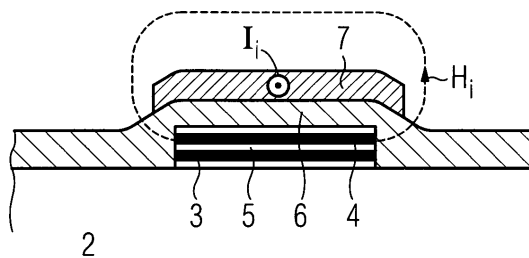
– eine Referenzschicht mit einer gegenüber der Messschicht vergleichsweise größeren magnetischen Härte,

– eine zwischen diesen Schichten befindliche nicht-magnetische Zwischenschicht

sowie

– zugeordnete Mittel zu einer Erzeugung eines zusätzlichen Magnetfeldes

umfasst, wobei die Messschicht (4) mit Hilfe der Felderzeugungsmittel zusätzlich einem internen magnetischen Wechselfeld (H_i) ausgesetzt oder ausgesetzt ist, das mittels einer Regelungseinrichtung regelbar einzustellen ist, dadurch gekennzeichnet, dass das interne Magnetfeld (H_i) zumindest annähernd senkrecht zur Ausgangsmagnetisierung der Referenzschicht (3) gerichtet ist und dass mittels der Regelungseinrichtung eine zumindest teilweise Kompensation der Einwirkung des externen Magnetfeldes auf die Messschicht (4) vorzunehmen ist.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein XMR-Dünnschichtensensorelement mit einer Schichtenfolge, die zumindest

- eine magnetische Messschicht zur Detektion eines externen Magnetfeldes,
- eine Referenzschicht mit einer gegenüber der Messschicht vergleichsweise größeren magnetischen Härte,
- eine zwischen diesen Schichten befindliche nicht-magnetische Zwischenschicht sowie
- zugeordnete Mittel zu einer Erzeugung eines zusätzlichen Magnetfeldes

umfasst. Dabei ist die Messschicht mit Hilfe der Felderzeugungsmittel zusätzlich einem internen magnetischen Wechselfeld ausgesetzt oder ausgesetzt, das mittels einer Regelungseinrichtung regelbar einzustellen ist.

[0002] Ein entsprechendes Dünnschichtensensorelement ist der US 5,747,997 A zu entnehmen.

[0003] Magneto-resistive Dünnschichtenfolge, die gegenüber einschichtigen Elementen mit einem sogenannten "klassischen AMR-Effekt" einen wesentlich erhöhten magneto-resistiven Effekt (sogenannten "XMR-Effekt") zeigen, sind allgemein bekannt (vgl. z.B. den Band "XMR-Technologien" – Technologieanalyse: Magnetismus; Bd. 2, VDI-Technologiezentrum "Physikalische Technologien", Düsseldorf (DE), 1997, Seiten 11 bis 46). Da bei entsprechenden Elementen der Magnetisierungswiderstand feldabhängig ist, lässt sich rückwirkend auf ein angelegtes externes Magnetfeld schließen. Demgemäß wird in herkömmlichen XMR-Sensoren z.B. eine winkelabhängige Magnetisierungsverteilung einer Messschicht bezüglich einer Referenzschicht mittels des elektrischen Widerstandes als Messgröße ausgewertet.

[0004] Aus der erwähnten US 5,747,997 A ist es bekannt, zur Detektion von schwachen magnetischen Feldern ein Dünnschichtensensorelement vom Spin-Valve-Typ mit den eingangs genannten Merkmalen einem vorbestimmten internen magnetischen Wechselfeld auszusetzen. Dieses Wechselfeld soll parallel zur Ausgangsmagnetisierung einer Referenzschicht in Richtung der sogenannten leichten Achse gerichtet sein. Dies führt zu einer Verschiebung der Magnetisierungskurve in Richtung der leichten Achse, in die auch ein externes Magnetfeld weisen soll.

[0005] Aus der DE 101 49 737 A1 ist eine besondere Ausbildung eines magneto-resistiven Speicherelementes zu entnehmen, bei dem eine elektrische Lei-

terbahn zur Erzeugung eines internen Magnetfeldes vorgesehen ist. Dabei ist dieses Magnetfeld senkrecht zu einer Referenzschicht des Speicherelementes gerichtet.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Empfindlichkeit des bekannten XMR-Dünnschichtensensorelements weiter zu steigern.

[0007] Diese Aufgabe wird für ein XMR-Dünnschichtenelement mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend gelöst, dass das interne Magnetfeld zumindest annähernd senkrecht zur Ausgangsmagnetisierung der Referenzschicht gerichtet ist und dass mittels der Regelungseinrichtung eine zumindest teilweise Kompensation der Einwirkung des externen Magnetfeldes auf die Messschicht vorzunehmen ist.

[0008] Bei dem Dünnschichtensensorelement nach der Erfindung wird durch ein internes Magnetfeld eine Drehung der Magnetisierungsrichtung der Messschicht bewirkt. Damit ist eine Ausbildung eines XMR-Signals im sogenannten 2ω -Frequenzbereich möglich, welches Voraussetzung für eine hohe Messempfindlichkeit ist. Ein erst mit der senkrechten Ausrichtung des internen Magnetfeldes erreichbarer gleichwertiger Zerfall in Domänen mit entgegengesetzter x-Komponente führt nämlich dazu, dass kleinste Felder in x-Richtung das Zerfallsgleichgewicht stören und so eine entsprechend empfindliche Detektion des überlagerten Feldes ermöglichen. Die Schichtenfolge des Sensorelementes wird also einem internen Feld ausgesetzt, und das zu detektierende externe Feld als Messgröße bewirkt eine Veränderung des zeitabhängigen Magnetowiderstandes. Dabei ist die eigentliche Messgröße die Amplitude der durch das äußere Feld generierten Oberwellen. Dies hat den Vorteil, dass durch Variation es generierten internen Feldes diese Messgröße zumindest größtenteils kompensiert werden kann, womit sich eine deutliche Steigerung der Empfindlichkeit ergibt. Hierfür geeignete „Nullpunkt-Kompensationsverfahren“ sind hinreichend bekannt.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Dünnschichtenelementes gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen hervor. Dabei kann die Ausführungsform nach Anspruch 1 mit den Merkmalen eines der Unteransprüche oder vorzugsweise auch denen aus mehreren Unteransprüchen kombiniert werden. Demgemäß kann das XMR-Dünnschichtenelement nach der Erfindung zusätzlich noch folgende Merkmale aufweisen:

- Die zusätzlichen Felderzeugungsmittel können als wenigstens eine in das Element integrierte elektrische Leiterbahn ausgebildet sein.
- Die Referenzschicht kann eine Einzelschicht ei-

nes Referenzschichtensystems sein.

– Das interne Magnetfeld kann einen sinusförmigen Verlauf seiner Feldstärke zeigen.

[0010] Die Erfindung wird nachfolgend an Hand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen in jeweils schematisierter Form

[0011] deren [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ein erfindungsgemäßes XMR-Dünnschichtensensorelement im Querschnitt bzw. in Aufsicht sowie

[0012] deren [Fig. 3a](#), [Fig. 4a](#) und [Fig. 5a](#) den Feldverlauf eines internen magnetischen Wechselfeldes in dem Element sowie

[0013] deren [Fig. 3b](#), [Fig. 4b](#) und [Fig. 5b](#) davon abhängiger Magnetowiderstände des Elementes.

[0014] Dabei sind in den Figuren sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Ausführungsbeispiel

[0015] Bei der für [Fig. 1](#) angenommenen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen XMR-Dünnschichtensensorelementes als TMR-Element **2** wird vom Aufbau an sich bekannter TMR-Elemente vom sogenannten "Spin Valve"-Typ ausgegangen. Das TMR-Element **2** umfasst somit mindestens eine magnetisch härtere Referenzschicht **3** und mindestens eine demgegenüber magnetisch weichere Messschicht **4**. Diese beiden Schichten **3** und **4** sind dabei über eine nicht-magnetische, im Falle der ausgewählten Ausführungsform als TMR-Element, isolierende Zwischenschicht **5** getrennt. Dieser Schichtaufbau kann selbstverständlich noch weitere Schichten umfassen, wie es aus der Technologie von XMR-Elementen allgemein bekannt ist. Parallel zu dem Schichtenaufbau und mittels einer Isolation **6** gegenüber diesem isoliert verläuft eine in den Aufbau des Elementes integrierte elektrische Leiterbahn **7** (vgl. z.B. die DE 195 20 206 C2). Mittels eines über diese Leiterbahn zu führenden internen Stromes I_i ist ein internes zusätzliches Magnetfeld H_i zu erzeugen, das insbesondere auf die der Leiterbahn zugewandte Messschicht **4** einwirkt.

[0016] In einem XMR-Dünnschichtensensorelement, dessen Ausgestaltung vorteilhaft rund und formisotrop ist, führt nach [Fig. 2](#) eine Änderung der Magnetisierungsrichtung m der Messschicht relativ zu einer fest vorgegebenen Magnetisierung M der Referenzschicht zu einer Widerstandsänderung. Diese kann in bekannter Weise durch einen Spannungsabfall gemessen werden, der ein Maß für den magneto-resistiven Effekt TMR ist. Im Ausgangszustand liegt

die Magnetisierungsrichtung m der Messschicht parallel zu der der Referenzschicht, beispielsweise durch eine vorhandene Neél-Kopplung entlang der x-Richtung eines rechtwinkligen x-y-Koordinatensystems. Legt man nun intern, beispielsweise über die Leiterbahn **7** nach [Fig. 1](#), ein zusätzliches, vorzugsweise sinusförmiges Magnetfeld $H_i = H_y$ der Frequenz ω in y-Richtung gemäß [Fig. 3a](#) an, so wird sich die Magnetisierungsrichtung der Messschicht in diese Feldrichtung drehen (vgl. [Fig. 2](#)), und der Widerstand bzw. magneto-resistive Effekt TMR des Dünnschichtensensorelementes zeigt dann den in [Fig. 3b](#) gezeigten Verlauf. Dabei beinhaltet die Frequenz des Widerstandes im Wesentlichen Frequenzanteile der zweiten Harmonischen (2ω) als Oberwellen zu denen der Grundfrequenz ω . Generell sind Signale mit der Frequenz von $n \cdot \omega$ als Oberwellen anzusehen, wobei n eine ganze Zahl bedeutet. Wird nun durch ein weiteres, externes Magnetfeld H_{xv} in x-Richtung die Messschicht so weit vormagnetisiert, dass das der Neél-Kopplung zuzuordnende Magnetfeld H_N zumindest teilweise, vorzugsweise gerade vollständig kompensiert wird, so wird das aus [Fig. 3b](#) ersichtliche Signal mit der doppelten Frequenz (2ω) mehr und mehr verschwinden (vgl. [Fig. 4b](#)). Der Grund hierfür ist wie folgt: Ist das Feld in y-Richtung groß genug, um die Messschicht zu sättigen, und ist kein Feld in x-Richtung überlagert, ist es energetisch gleichwertig, dass die Magnetisierung in Domänen mit Komponenten in (+x)-Richtung und in (-x)-Richtung zerfällt. Die ersten würden den Widerstand erniedrigen (parallele Magnetisierung zwischen Mess- und Referenzschicht), letztere den Widerstand dementsprechend erhöhen. Im exakten Gleichgewicht würden sich beide Effekte kompensieren, und der Widerstand würde sich nicht ändern (vgl. [Fig. 4b](#)). Schon kleinste überlagerte Felder in x-Richtung werden hingegen dieses Gleichgewicht stören, und die eine oder andere Richtung bevorzugen. Dies führt zu einem TMR-Signal im 2ω -Frequenzbereich (vgl. [Fig. 5b](#)). Eine Abschätzung zeigt, dass bereits Feldstärken von wenigen 0,01 Oe (wenige A/m) zu einem deutlichen Signal führen können. Die Empfindlichkeit hängt dabei im Wesentlichen von der Dispersion der leichten Richtung in der Messschicht ab, und kann z.B. bei amorphen Materialien sehr genau eingestellt werden.

[0017] Die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Dünnschichtensensorelementes besteht also darin, das 2ω -Signal, d.h. die Oberwellen mit geradzahligem n ($n = 2, 4, 6, \dots$), möglichst weitgehend durch Variation des x-Feldes zu unterdrücken. Da nur Komponenten des XMR-Effekts im 2ω -Signal zur Kompensation verwendet werden, kann das Rauschen durch Frequenzfilterung z.B. in sogenannter Look-in-Technik minimiert werden. Liegt zusätzlich zum internen Magnetfeld ein externes Magnetfeld als Messgröße an, stellt demnach die interne Feldstärke, die zur Minimierung des 2ω -Signals benötigt wird, das eigentli-

che Messsignal dar.

[0018] Die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Dünnschichtensensorelementes stellt im gleichen Messverfahren noch eine Größe für die Feldkomponente in y-Richtung bereit. Wie in [Fig. 5b](#) gezeigt, führt die Überlagerung des internen y-Feldes durch ein externes Feld zu einer Deformation des 2ω -Signals, die sich in der Bildung höherer Harmonischer (jetzt: 4ω) des 2ω -Signals auswirkt. Eine Kompensation bezüglich der Minimierung dieser Harmonischen erlaubt eine Bestimmung des angelegten externen Feldes in dieser Richtung. Beide Messungen, da in unterschiedlichen Frequenzbereichen, können unabhängig voneinander sein, so dass die Kompensation in beiden Richtungen eine 2-dimensionale Feldbestimmung erlaubt.

[0019] Für eine konkrete Realisierung entsprechender erfindungsgemäßer Dünnschichtensensorelemente werden vorteilhaft folgende Eigenschaften eingeplant:

- Eine Néel-Kopplung,
- eine geringe Dispersion einer einachsigen Anisotropie,
- eine mäßige einachsige Anisotropie,
- ein ausgeprägter XMR-Effekt,
- hinreichend gute HF-Eigenschaften.

[0020] Elemente mit entsprechenden Eigenschaften sind Stand der Technik.

Patentansprüche

1. XMR-Dünnschichtensensorelement mit einer Schichtenfolge, die zumindest

- eine magnetische Messschicht zur Detektion eines externen Magnetfeldes,
- eine Referenzschicht mit einer gegenüber der Messschicht vergleichsweise größeren magnetischen Härte,
- eine zwischen diesen Schichten befindliche nicht-magnetische Zwischenschicht

sowie

- zugeordnete Mittel zu einer Erzeugung eines zusätzlichen Magnetfeldes

umfasst, wobei die Messschicht (4) mit Hilfe der Felderzeugungsmittel zusätzlich einem internen magnetischen Wechselfeld (H_y) ausgesetzt oder ausgesetzt ist, das mittels einer Regelungseinrichtung regelbar einzustellen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das interne Magnetfeld (H_y) zumindest annähernd senkrecht zur Ausgangsmagnetisierung der Referenzschicht (3) gerichtet ist und dass mittels der Regelungseinrichtung eine zumindest teilweise Kompensation der Einwirkung des externen Magnetfeldes auf die Messschicht (4) vorzunehmen ist.

2. Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzlichen Felderzeugungsmittel

als wenigstens eine in das Element (2) integrierte elektrische Leiterbahn (7) ausgebildet sind.

3. Element nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzschicht (3) eine Einzelschicht eines Referenzschichtensystems ist.

4. Element nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das interne Magnetfeld (H_y) einen sinusförmigen Verlauf seiner Feldstärke zeigt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

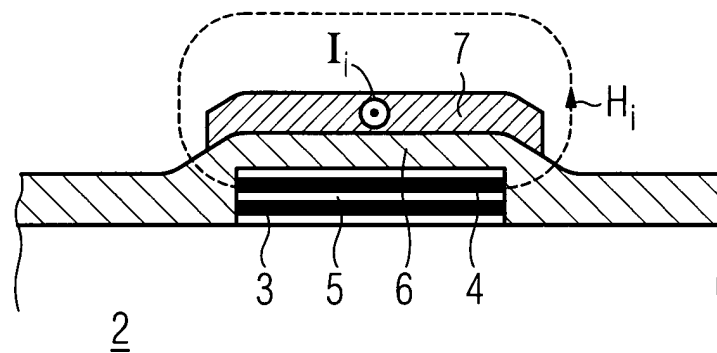


FIG 2

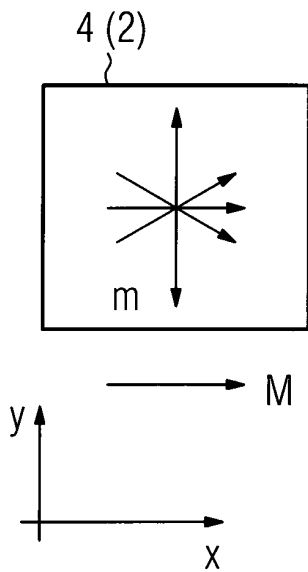


FIG 3a

$$H_{xv} = 0$$

$$H_y = H \sin(\omega t)$$

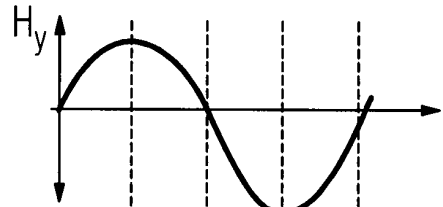
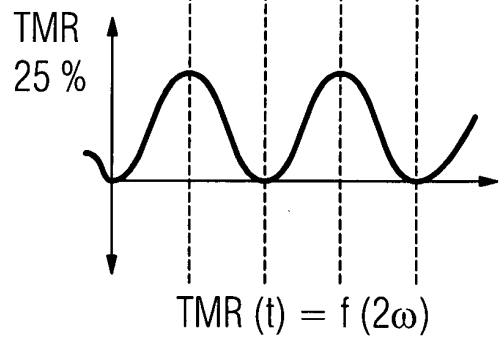


FIG 3b



$$H_{xv} = -H_n$$

FIG 4a

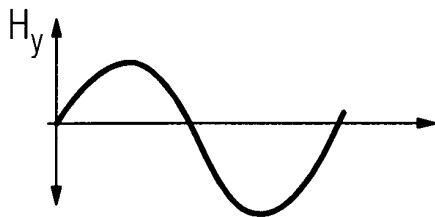


FIG 5a

$$H_{xv} = -H_N$$

$$H_y = H_0 + H \sin(\omega t)$$

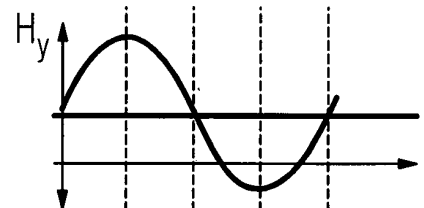


FIG 4b

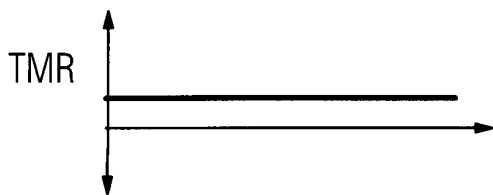


FIG 5b

