



(10) **DE 199 36 378 B4** 2012.01.26

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **199 36 378.1**
(22) Anmeldetag: **03.08.1999**
(43) Offenlegungstag: **10.02.2000**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.01.2012**

(51) Int Cl.: **G11B 5/39 (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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
P 10-220608 04.08.1998 JP

(73) Patentinhaber:
ALPS Electric Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80796, München, DE

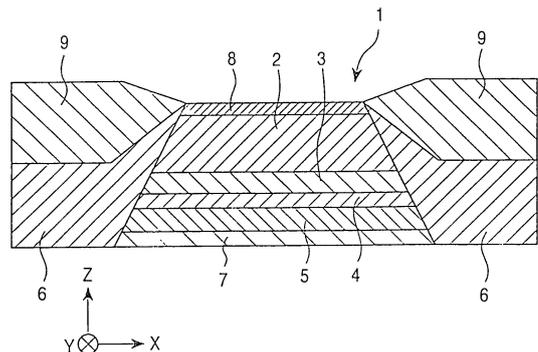
(72) Erfinder:
**Saito, Masamichi, Nagaoka, Niigata, JP;
Hasegawa, Naoya, Nagaoka, Niigata, JP**

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

US	5 701 222	A
US	5 708 358	A
US	5 552 949	A
EP	0 749 112	A2
EP	0 758 783	A1

(54) Bezeichnung: **Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Spin-Valve-Typ**

(57) Zusammenfassung: Ein Magnetowiderstandsbauelement vom Drehventiltyp enthält eine antiferromagnetische Schicht (2), eine damit in Berührung stehende fixierte magnetische Schicht (3), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (4) auf der fixierten magnetischen Schicht mit einer darauf befindlichen freien magnetischen Schicht (5). Eine Vormagnetisierungsschicht (6) dient zum Orientieren der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht in eine Richtung, die die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht kreuzt. Eine elektrisch leitende Schicht (9) dient zum Zuspfeisen eines Lesestroms zu der fixierten Magnetschicht, der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und der freien Magnetschicht. Die freie Magnetschicht (5) besteht aus einem NiFe-Legierungs-Film mit einer Dicke im Bereich von 30 bis 100 Å. Bei geeigneter Festlegung der Zusammensetzung der NiFe-Legierung läßt sich die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht auf einen Wert von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugt $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 einstellen, was zu einer reduzierten anisotropen Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts führt. Das Element zeichnet sich durch verringertes Barkhausen-Rauschen und eine hohe Rate der Widerstandsänderung aus.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Magnetowiderstandselement vom Spin-Valvetypp (im folgenden einfach als Magnetowiderstandselement bezeichnet), dessen elektrischer Widerstand sich ändert aufgrund der Beziehung zwischen der Magnetisierungsrichtung einer fixierten magnetischen Schicht und der Magnetisierungsrichtung einer freien magnetischen Schicht, wobei letztere von einem äußeren magnetischen Feld beeinflusst wird. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Magnetowiderstandselement, bei dem die Magnetowiderstands-Konstante einer freien magnetischen Schicht in geeigneter Weise so eingestellt ist, daß das Barkhausen-Rauschen verringert wird.

[0002] Ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Spin-Valvetypp ist eine Bauart eines Riesen-Magneto-resistenzeffekt-Elements, welches den Riesen-Magneto-resistenzeffekt (GMR = giant magneto-resistive) nutzt und dazu dient, aufgezeichnete Magnetfelder von Aufzeichnungsträgern, beispielsweise von Festplatten, zu lesen.

[0003] Ein Magnetowiderstandselement besitzt in seiner einfachsten Konfiguration vier Schichten: eine freie magnetische Schicht, eine nichtmagnetische elektrisch leitende Schicht, eine fixierte Magnetschicht und eine antiferromagnetische Schicht, und zwar in dieser Reihenfolge von unten nach oben. An den beiden Außenseiten dieser Schichtkonfiguration befinden sich eine hartmagnetische Vormagnetisierungsschicht und eine elektrische Leiterschicht.

[0004] Die antiferromagnetische Schicht setzt sich typischerweise zusammen aus einer Eisen-Mangan-(FeMn-)Legierung oder einer Nickel-Mangan(NiMn-)Legierung, die fixierte Magnetschicht und die freie Magnetschicht bestehen typischerweise aus einer Nickel-Eisen-(NiFe-)Legierung. Die nicht nichtmagnetische Schicht besteht typischerweise aus Kupfer, die hartmagnetische Vormagnetisierungsschicht besteht typischerweise aus einer Kobalt-Platin-(CoPt-)Legierung.

[0005] Die fixierte magnetische Schicht ist so ausgebildet, daß sie in Berührung mit der antiferromagnetischen Schicht steht. Wenn die antiferromagnetische Schicht aus einer FeMn-Legierung besteht, geschieht die Ausbildung der Schicht in einem Magnetfeld. Besteht die antiferromagnetische Schicht aus einer NiMn-Legierung, so wird die Schicht in einem Magnetfeld einer Wärmebehandlung unterzogen. Als Ergebnis wird die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht in Höhenrichtung (in Richtung des Streu- oder Randmagnetfelds, welches aus dem Aufzeichnungsträger stammt) festgelegt, um einen Einzeldomänen-Zustand zu schaffen. Die Magnetisierung der freien Magnetschicht ist in Spurbreitenrichtung orientiert aufgrund eines Vormagnetisierungsfel-

des aus der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht. Der relative Winkel, der definiert wird durch die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht und die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht, beträgt 90°.

[0006] In einem solchen Magnetowiderstandselement wird ein Lesestrom über die elektrische Leiterschicht an die fixierte magnetische Schicht, die nichtmagnetische, die elektrisch leitende Schicht und die freie magnetische Schicht gegeben. Wenn ein Randmagnetfeld seitens des Aufzeichnungsträgers einwirkt, ändert sich die Magnetisierungsrichtung der freien magnetischen Schicht aus der Spurbreitenrichtung in die Richtung des äußeren Randmagnetfelds. Eine Änderung der Magnetisierungsrichtung der freien magnetischen Schicht ruft eine Änderung des elektrischen Widerstands des Elements in Verbindung mit der Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht hervor.

[0007] Das aus metallischen Schichten bestehende Magnetowiderstandselement ist auf der Oberseite und der Unterseite sowie einer in Höhenrichtung weisenden Seite mit einer Isolier- oder Spaltschicht überzogen, die z. B. aus Al_2O_3 besteht, während die andere Seitenfläche an der zur Luft hin freien Seite (ABS-Seite von air-bearing surface) oder an der Frontseite, die der in Höhenrichtung zugewandten Seite abgewandt ist, freiliegt. Dabei wird auf die mittlere Zone der freien magnetischen Schicht des Magnetowiderstandselements eine Zugspannung in Röhrenrichtung aufgebracht, während auf die beiden Endzonen der freien magnetischen Schicht eine Druckspannung aufgebracht wird.

[0008] Wie oben beschrieben, ist auf beiden Seiten der freien magnetischen Schicht eine hartmagnetische Vormagnetisierungsschicht ausgebildet, die in Spurbreitenrichtung magnetisiert ist, und die Vormagnetisierungsschicht orientiert die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht in Richtung der Spurbreite.

[0009] Die Wirkung der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht ist an den beiden Endbereichen der freien magnetischen Schicht am ausgeprägtesten, zum mittleren Bereich der freien magnetischen Schicht hin, also mit zunehmender Entfernung von der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht, ist sie abgeschwächt. Mithin besitzt die mittlere Zone der freien magnetischen Schicht einen starken magnetoelastischen Effekt, der definiert wird durch die Spannung und die Magnetostruktionskonstante, die auf die freie magnetische Schicht wirken.

[0010] Die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht hat einen positiven Wert aufgrund der auf die mittlere Zone der freien magnetischen Schicht in Höhenrichtung aufgetragenen Zug-

spannung. Mit zunehmender positiver Magnetostruktionskonstante nimmt auch die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts zu, und folglich wird die Höhenrichtung zu der leichten Magnetisierungsachse, also zu der Achse, in der sich die Magnetisierung leicht orientiert. Dieser Zustand erleichtert die Neigung der Magnetisierung in Höhenrichtung innerhalb der mittleren Zone der freien magnetischen Schicht und fördert mithin die Entstehung von Barkhausen-Rauschen.

[0011] Andererseits bewirkt eine negative Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht in erwünschter Weise, daß die leichte Magnetisierungsachse in der mittleren Zone der freien Magnetschicht in Spurbreitenrichtung orientiert ist. Allerdings erscheint anisotrope magnetische Dispersion aufgrund des magnetoelastischen Effekts an den beiden Endzonen der freien Magnetschicht, wo Druckspannung in Höhenrichtung aufgebracht wird, und folglich wird die Höhenrichtung zu einer Achse leichter Magnetisierung.

[0012] Da die beiden Endzonen der freien Magnetschicht von der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht signifikant beeinflusst werden, wobei die Vormagnetisierungsschicht in Spurbreitenrichtung magnetisiert ist, wird die anisotrope magnetische Dispersion in der Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts als geringfügig betrachtet im Vergleich zu derjenigen in der mittleren Zone der freien Magnetschicht. Wenn die freie Magnetschicht eine große positive Magnetostruktionskonstante besitzt, wird die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts beträchtlich groß.

[0013] In diesem Zustand neigt die Magnetisierung in den beiden Endzonen der freien Magnetschicht zu einer Orientierung in Höhenrichtung, was die Entstehung von Barkhausen-Rauschen fördert.

[0014] Es ist folglich ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Magnetowiderstandselement anzugeben, bei dem eine freie magnetische Schicht in ihrer Dicke und Zusammensetzung derart eingestellt ist, daß die Magnetostruktionskonstante innerhalb der freien magnetischen Schicht auf einen zu Reduzierung von Barkhausen-Rauschen geeigneten Bereich gedrückt wird.

[0015] Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebene Erfindung gemäß einem ersten Aspekt gelöst, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung in den vom Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen angegeben sind. Bei den in den abhängigen Ansprüchen angegebenen Werten läßt sich die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht

auf einen Wert zwischen -2×10^{-6} und 1×10^{-6} , vorzugsweise $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 einstellen.

[0016] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die obige Aufgabe durch die im Anspruch 6 angegebenen Merkmale gelöst, wobei wiederum spezielle Weiterbildungen und Ausgestaltungen in den vom Anspruch 6 abhängigen Ansprüchen angegeben sind. Mit den beanspruchten Werten dieser Ausführungsformen läßt sich die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugter auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 einstellen.

[0017] Erfindungsgemäß wird die antiferromagnetische Schicht vorzugsweise durch einen Film aus einer PtMn-Legierung gebildet.

[0018] Alternativ kann die antiferromagnetische Schicht aus einer Legierung bestehen, die ausgewählt ist aus einer X-Mn-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Pd, Ru, Ir, Os und Rh, außerdem aus einer Pt-Mn-X-Legierung mit X als mindestens einem Element aus der Gruppe Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co.

[0019] Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0020] [Fig. 1](#) eine Querschnittansicht in der Nähe einer der Luft zugewandten Fläche (ABS = air bearing surface) eines Magnetowiderstandselements gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0021] [Fig. 2](#) eine Querschnittansicht in der Nähe einer der Luft zugewandten Fläche (ABS = air bearing surface) eines Magnetowiderstandselements gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

[0022] [Fig. 3](#) eine Querschnittansicht in der Nähe einer der Luft zugewandten Fläche (ABS = air bearing surface) eines Magnetowiderstandselements gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung;

[0023] [Fig. 4](#) eine Querschnittansicht in der Nähe einer der Luft zugewandten Fläche (ABS = air bearing surface) eines Magnetowiderstandselements gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung;

[0024] [Fig. 5](#) eine Querschnittansicht in der Nähe einer der Luft zugewandten Fläche (ABS = air bearing surface) eines Magnetowiderstandselements gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung;

[0025] [Fig. 6](#) eine Querschnittansicht in der Nähe einer der Luft zugewandten Fläche (ABS = air bearing surface) eines Magnetowiderstandselements gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung;

[0026] [Fig. 7](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Magnetostruktionskonstanten λ_s einer freien Magnetschicht und der anisotropen magnetischen Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts;

[0027] [Fig. 8](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s einer freien Magnetschicht aus einer NiFe-Legierung mit einem Nickelanteil von 83 Atomprozent, wobei sich auf der Schicht eine antiferromagnetische Schicht befindet;

[0028] [Fig. 9](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Magnetostruktionskonstanten λ_s und der Dicke der NiFe-Legierung-Schicht, wobei oberhalb einer freien Magnetschicht aus NiFe eine antiferromagnetische Schicht gebildet ist und der Nickelanteil der freien NiFe-Magnetschicht auf von 82, 83, 84 und 85 Atomprozent geändert ist;

[0029] [Fig. 10](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Magnetostruktionskonstanten λ_s und der Dicke der Schicht aus einer NiFe-Legierung (Nickelanteil: 83,5 Atomprozent), wobei oberhalb oder unterhalb einer freien NiFe-Magnetschicht eine antiferromagnetische Schicht ausgebildet ist, oder oberhalb und unterhalb einer freien NiFe-Magnetschicht antiferromagnetische Schichten ausgebildet sind;

[0030] [Fig. 11](#) ist eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke der freien Magnetschicht und der Änderungsrate des Widerstands in Spin-Valveschichten mit verschiedenen Arten von freien Magnetschichten;

[0031] [Fig. 12](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Ni-Anteil einer Schicht aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 30 Å oder 100 Å und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht, die eine freie magnetische Schicht und eine antiferromagnetische Schicht oberhalb dieser freien Magnetschicht enthält;

[0032] [Fig. 13](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Ni-Anteil einer Schicht aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 30 Å oder 100 Å und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht, die eine freie magnetische Schicht und eine darunter befindliche antiferromagnetische Schicht enthält;

[0033] [Fig. 14](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Ni-Anteil einer Schicht aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 30 Å oder 100 Å und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht, mit einer freien Magnetschicht und einer darunter ausgebildeten antiferromagnetischen Schicht;

[0034] [Fig. 15](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke einer CoFe-Legierungsschicht und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht, die eine freie magnetische Schicht und mindestens eine oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht befindliche antiferromagnetische Schicht aufweist, wobei die freie Magnetschicht einen Film aus einer NiFe-Legierung und einen Film aus einer CoFe-Legierung aufweist und die freie Magnetschicht eine Gesamtdicke von 80 Å besitzt;

[0035] [Fig. 16](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Nickelanteil der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht, die eine freie magnetische Schicht und mindestens eine darüber befindliche antiferromagnetische Schicht aufweist, wobei die freie Magnetschicht einen Film aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 80 Å enthält oder einen Film aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 40 Å und einen Film aus einer CoFe-Legierung mit einer Dicke von 40 Å enthält;

[0036] [Fig. 17](#) eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Nickelanteil in der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht, die eine freie Magnetschicht und eine unterhalb von dieser gebildete antiferromagnetische Schicht enthält, wobei die freie Magnetschicht eine NiFe-Legierungsschicht mit einer Dicke von 80 Å enthält oder aber eine NiFe-Legierungsschicht mit einer Dicke von 40 Å und eine Schicht aus einer CoFe-Legierung mit einer Dicke von 40 Å enthält; und

[0037] [Fig. 18](#) eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen dem Nickelanteil in der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in einer Spin-Valveschicht veranschaulicht, welche eine freie Magnetschicht und eine oberhalb und unterhalb von dieser gebildete antiferromagnetische Schicht enthält, wobei die freie Magnetschicht entweder einen Film aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 80 Å enthält oder aber einen Film aus einer NiFe-Legierung mit einer Dicke von 40 Å und eine Schicht aus einer CoFe-Legierung mit einer Dicke von 40 Å.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0038] [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) sind Querschnittsansichten von Magnetowiderstandselementen vom Spin-Valvetyp einer ersten, einer zweiten bzw. einer dritten Ausführungsform der Erfindung, die dazu dienen, aufgezeichnete Magnetfelder von Aufzeichnungsträgern zu lesen, so z. B. von Festplatten, wobei die Schnittansichten in der Nähe der Luftflächen der Magnetowiderstandselement verlaufen.

[0039] In einem in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellten Magnetowiderstandselement sind die Oberseite, die Unterseite und eine Seitenfläche (eine "Höhenfläche"), die im wesentlichen rechtwinklig zu der Y-Achse verlaufen, mit einer Isolierschicht oder einem Spaltfilm bedeckt, der z. B. aus Al₂O₃ besteht. Eine andere Seitenfläche, die der "Höhenfläche" abgewandt ist, liegt zur Luft hin frei und wird auch mit ABS abgekürzt (air baring surface), wobei es sich hier um die Vorderfläche handeln soll. In der mittleren Zone wirkt auf eine freie Magnetschicht **5** des Magnetowiderstandselements **1** in Richtung der Y-Achse (in Höhenrichtung) eine Zugspannung ein, während auf die beiden Endzonen der freien Magnetschicht **5** in Richtung der Y-Achse (in Höhenrichtung) eine Druckspannung aufgebracht wird.

[0040] In den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) besteht eine Unterlagenschicht **7** aus einem nichtmagnetischen Material, beispielsweise Tantal.

[0041] In [Fig. 1](#) sind auf der Unterlagenschicht **7** die freie magnetische Schicht **5**, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **4**, eine fixierte magnetische Schicht **3** und eine antiferromagnetische Schicht **2** in dieser Reihenfolge niedergeschlagen.

[0042] In [Fig. 2](#) sind die antiferromagnetische Schicht, die fixierte magnetische Schicht **3**, die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **4** und die freie Magnetschicht **5** in dieser Reihenfolge auf der Unterlagenschicht **7** niedergeschlagen.

[0043] In [Fig. 3](#) sind auf der Oberseite und auf der Unterseite der freien Magnetschicht **5** jeweils paarweise eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **4**, eine fixierte magnetische Schicht **3** und eine antiferromagnetische Schicht **2** gebildet, wodurch ein Magnetowiderstandselement **1** vom Doppel-Spin-Valvetyp gebildet wird.

[0044] Die obere Schicht in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) ist eine Schutzschicht aus einem nichtmagnetischen Material wie z. B. Tantal.

[0045] In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) besitzt die Verbundschicht, die ihrerseits sechs Schichten ausgehend von der Unterlagenschicht **7** umfaßt, abgechrägte Seitenflächen. In [Fig. 3](#) enthält die Verbundschicht aus neun Lagen zwischen der Unterlagenschicht **7** und der Schutzschicht **8** ebenfalls abgewinkelte Seitenflächen. Hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten **6** und elektrisch leitende Schichten **9** sind an diesen Seitenflächen ausgebildet.

[0046] Im folgenden werden die Werkstoffe für die einzelnen Schichten näher erläutert.

[0047] Die antiferromagnetische Schicht **2** setzt sich zusammen aus einer PtMn-(Platin-Mangan-)Legie-

rung. Die PtMn-Schicht besitzt hohe Korrosionsbeständigkeit und eine hohe Sperrtemperatur im Vergleich zu FeMn-Legierungen und NiMn-Legierungen.

[0048] Die Verwendung der PtMn-Legierung in der antiferromagnetischen Schicht **2** gemäß [Fig. 1](#) verursacht die Entstehung eines anisotropen Austauschmagnetfelds an der Grenzfläche bezüglich der fixierten magnetischen Schicht **3**, egal, ob die antiferromagnetische Schicht **2** gemäß [Fig. 1](#) oberhalb der fixierten magnetischen Schicht oder gemäß [Fig. 2](#) unterhalb der fixierten magnetischen Schicht **3** ausgebildet ist.

[0049] Die PtMn-Legierung ist ein antiferromagnetischer Werkstoff, die sich bestens für das Doppel-Magnetowiderstandselement **1** eignet, bei dem sich eine antiferromagnetische Schicht **2** jeweils oberhalb und unterhalb der fixierten Magnetschicht **3** befindet, wie in [Fig. 3](#) zu sehen ist.

[0050] Die PtMn-Legierung hat weitere Vorteile als antiferromagnetisches Material, darunter Wärmebeständigkeit und ein starkes anisotropes Austauschmagnetfeld (Hex).

[0051] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die PtMn-Legierung ersetzt werden durch eine X-Mn-Legierung, wobei X mindestens eines der Elemente Pd, Ru, Ir, Os und Rh ist, kann aber auch ersetzt werden durch eine Pt-Mn-X-Legierung, wobei X mindestens eines der Elemente Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co ist. Vorzugsweise liegt das Verhältnis der Komponenten der PtMn-Legierung in einem Bereich von Pt: Mn = 1:9 bis 3:7 oder 1:0,7 bis 1:1,3; bevorzugter 1:1. Außerdem liegt das Verhältnis der Komponenten der X-Mn-Legierung vorzugsweise in einem Bereich von X:Mn = 1:9 bis 3:7 oder 1:0,7 bis 1:1,3; bevorzugter 1:1.

[0052] Die fixierte Magnetschicht **3** gemäß der Erfindung setzt sich zusammen aus einer Nickel-Eisen-Legierung (NiFe), einer Kobalt-Legierung (Co) oder metallischem Kobalt. Die freie Magnetschicht **5** besteht aus einer NiFe-Legierung. Die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **4** besteht aus Kupfer. Die hartmagnetischen Vormagnetisierungsschichten **6** bestehen z. B. aus einer Kobalt-Platin-Legierung (Co-Pt) oder einer Kobalt-Chrom-Platin-Legierung (Co-Cr-Pt). Die elektrisch leitende Schicht **8** besteht aus Chrom oder Wolfram.

[0053] Wie in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) gezeigt ist, steht die fixierte magnetische Schicht **3** mit der antiferromagnetischen Schicht **2** in Berührung. Wird die fixierte magnetische Schicht **3** in einem Magnetfeld wärmebehandelt, welches in Richtung der Y-Achse (in Höhenrichtung oder in Richtung eines von dem Aufzeichnungsmedium stammenden Streumagnetfelds) angelegt wird, wird an der Grenzfläche zwischen der

fixierten magnetischen Schicht **3** und der antiferromagnetischen Schicht **2** ein anisotropes Austauschmagnetfeld gebildet, und die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht **3** wird festgelegt, so daß sie in Richtung der Y-Achse einen Einzeldomänen-Zustand erzeugt.

[0054] Da die hartmagnetischen Vormagnetisierungsschichten **6** gemäß Zeichnung in X-Richtung magnetisiert sind (in Richtung der Spurbreite des Aufzeichnungsträgers), wird die Magnetisierung der freien Magnetschicht **5** durch die Effekte der Vormagnetisierungsschichten **6** in X-Richtung orientiert.

[0055] Bei den in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) gezeigten Magnetowiderstandselementen wird ein stationärer Strom als Lesestrom in die fixierte Magnetschicht **3**, die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **4** und die freie magnetische Schicht **5** über die elektrisch leitenden Schichten **9** eingespeist. Wenn ein Magnetfeld an die freie Magnetschicht **5** in Richtung der X-Achse seitens des Aufzeichnungsträgers gelegt wird, ändert sich die Magnetisierungsrichtung der freien Magnetschicht **5** von der X-Richtung in die Y-Richtung. Elektronen, die sich von der freien Magnetschicht **5** zu der fixierten Magnetschicht **3** bewegen oder umgekehrt, werden an der Grenzschicht zwischen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht **4** und der fixierten Magnetschicht **3** oder an der Grenzfläche zwischen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht **4** und der freien Magnetschicht **5** gestreut, was zu einer Änderung des elektrischen Widerstands führt. Demzufolge ändert sich die Stärke des Lesestroms, so daß man ein lesbares Ausgangssignal gewinnt.

[0056] Wie oben beschrieben, besteht die freie Magnetschicht **5** nach den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) aus einer Ni-Fe-Legierung. Die freie Magnetschicht **5** besitzt vorzugsweise eine Stärke im Bereich von 30 bis 100 Å. Eine Dicke in diesem Bereich führt zu einer hohen Rate oder Geschwindigkeit der Widerstandsänderung, wie in der (weiter unten noch näher zu beschreibenden) [Fig. 5](#) dargestellt ist, wobei die Rate etwa doppelt so hoch ist wie die (etwa 2% betragende) Rate der Widerstandsänderung eines anisotropen Magnetowiderstandselements (AMR). Das Verhältnis der Komponenten in der NiFe-Legierung bestimmt sich vorzugsweise so, daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegt, bevorzugter im Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0.

[0057] Wenn die freie Magnetschicht **5** die oben genannte Magnetostruktionskonstante besitzt, ist die anisotrope magnetische Dispersion in der freien Magnetschicht **5** aufgrund des magnetoelastischen Effekts in Höhenrichtung (Richtung der Y-Achse) gering, so daß das Barkhausen-Rauschen wirksam verringert werden kann.

[0058] Im einzelnen: auf die mittlere Zone der freien Magnetschicht **5** wirkt in Richtung der Y-Achse (Höhenrichtung) eine Zugspannung, während auf die beiden Endzonen der freien Magnetschicht **5** in Richtung der Y-Achse (in Höhenrichtung) eine Druckspannung einwirkt, wie oben ausgeführt wurde. Die mittlere Zone der freien Magnetschicht **5**, die von der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht entfernt ist, wird weniger durch die in der Vormagnetisierungsschicht **6** in Richtung der X-Achse erzeugte Magnetisierung (in Richtung der Spurbreite) beeinflusst. Ein beträchtlicher Anteil der anisotropen magnetischen Dispersion in Richtung der Y-Achse aufgrund eines starken magnetoelastischen Effekts wirkt auf die mittlere Zone ein und ruft eine Neigung der Magnetisierung in der mittleren Zone in Richtung der Y-Achse hervor (in Höhenrichtung), was zu der Entstehung von Barkhausen-Rauschen führt. Eine solche Neigung der Magnetisierung in der mittleren Zone bewirkt außerdem eine verringerte Stärke der Widerstandsänderung, da die mittlere Zone der freien Magnetschicht **5** den signifikantesten Spin-Valve-Effekt zeigt.

[0059] [Fig. 7](#) ist eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Magnetostruktionskonstanten λ_s der freien Magnetschicht **5** und der anisotropen magnetischen Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts. Die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts bestimmt sich durch die Gleichung $3 \times (\text{Magnetostruktionskonstante } \lambda_s \text{ der freien Magnetschicht } 5) \times (\text{an die freie Magnetschicht } 5 \text{ angelegte Spannung } \sigma)$: (Sättigungsmagnetisierung der freien Magnetschicht **5**).

[0060] Wie in [Fig. 7](#) zu sehen ist, ist dann, wenn die Magnetostruktionskonstante λ_s Null ist, auch die anisotrope magnetische Dispersion 0 (Oe: Oersted). Wird an die freie Magnetschicht **5** in Höhenrichtung Zugspannung gelegt, besitzt die Magnetostruktionskonstante λ_s einen positiven Wert, der mit steigender Zugspannung linear zunimmt. Wird eine Druckspannung an die freie Magnetschicht **5** in Höhenrichtung gelegt, besitzt die Magnetostruktionskonstante λ_s einen negativen Wert, der Absolutwert nimmt mit zunehmender Druckspannung linear zu. Die Höhenrichtung wird zu der Achse der leichten Magnetisierung, wenn die magnetische Dispersion in Höhenrichtung aufgrund eines magnetoelastischen Effekts zunimmt. Auf diese Weise läßt sich die Magnetisierung der freien Magnetschicht **5** leicht in Höhenrichtung lenken.

[0061] Wie in [Fig. 7](#) zu sehen ist, wird, wenn die Magnetostruktionskonstante λ_s einen großen positiven Wert hat, in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts eine starke anisotrope magnetische Dispersion in der zentralen Zone der freien Magnetschicht **5** erzeugt. Dementsprechend neigt

sich die Magnetisierung in der zentralen Zone in unerwünschter Weise in Höhenrichtung.

[0062] Wenn die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** einen positiven Wert in der Nähe von Null hat, läßt sich die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts in der mittleren Zone der freien Magnetschicht **5** verringern. Besitzt die Magnetostruktionskonstante λ_s einen negativen Wert, so wird die Richtung der Spurbreite die Achse der leichten Magnetisierung in der mittleren Zone der freien Magnetschicht **5**. Dann läßt sich die Magnetisierung in der zentralen Zone in Richtung der Spurbreite orientieren.

[0063] Wenn die freie Magnetschicht **5** eine starke negative Magnetostruktionskonstante λ_s besitzt, nimmt die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung aufgrund des magnetoelastischen Effekts in den beiden Endzonen der freien Magnetschicht **5** bei Einwirkung von Druckspannung zu, wie in [Fig. 7](#) zu sehen ist. Damit neigt die Magnetisierung in diesen Endbereichen dazu, in Höhenrichtung zu schwenken, was zu Barkhausen-Rauschen führt. Folglich bewegt sich die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** erfindungsgemäß in einem Bereich von vorzugsweise -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugter im Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0.

[0064] In einer Spin-Valveschicht, in der die antiferromagnetische Schicht **2** (die Schicht aus einer PtPtMn-Legierung) oberhalb der freien Magnetschicht **5** (einer Schicht aus einer NiFe-Legierung) gebildet wird (im folgenden als Oben-PtMn-Konfiguration bezeichnet), läßt sich die Beziehung zwischen der Dicke der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s folgendermaßen beschreiben: die Spin-Valve-Dünnschicht mit der Oben-PtMn-Konfiguration besitzt von unten nach oben folgenden Schichtaufbau: ein Siliziumsubstrat, eine Aluminiumoxidschicht, eine Unterlagenschicht (40 Å) aus Tantal, eine freie Magnetschicht **5** aus NiFe (variable Stärke), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (30 Å), eine antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300 Å) und eine Schutzschicht aus Tantal (50 Å). Die Zahlenangaben in Klammern bedeuten Schichtdicke in Angström. Der Nickelanteil der NiFe-Legierung der freien Magnetschicht **5** betrug 83 Atomprozent. Bei einer realisierten Spin-Valve-Dünnschicht wurde eine fixierte Magnetschicht zwischen der aus Kupfer bestehenden nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und der antiferromagnetischen Schicht aus PtMn gebildet. Das an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht gebildete anisotrope Austauschmagnetfeld beeinflusste die Messung der Magnetostruktionskonstanten der freien Magnetschicht **5**. Folglich wurde die fixierte Magnetschicht weggelassen, um eine korrekte Mes-

sung der Magnetostruktionskonstanten zu ermöglichen.

[0065] Die Relation zwischen der Dicke der NiFe-Legierungsschicht und der Magnetostruktionskonstanten λ_s wurde unmittelbar nach Ausbildung der (nicht wärmebehandelten) Spin-Valveschicht ermittelt. Darüberhinaus wurde die Spin-Valveschicht vier Stunden lang bei 250°C gegläht und dann vier Mal eine Stunde lang bei 250°C einer Wärmebehandlung unterzogen um eine in einem Induktions-Schreibkopf enthaltene Resistschicht thermisch auszuhärten. Die Beziehung zwischen der Dicke der geglähten NiFe-Legierungsschicht und der Magnetostruktionskonstanten λ_s wurde ebenfalls ermittelt. Die Ergebnisse sind in [Fig. 8](#) dargestellt.

[0066] Wie in [Fig. 8](#) gezeigt ist, verringerte sich die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5**, sie verschob sich in Richtung negativer Werte, als die Dicke der NiFe-Legierungsschicht (der freien Magnetschicht **5**) erhöht wurde. Der Verlauf der Magnetostruktionskonstanten verschob sich zur Richtung der positiven Seite durch Glühen der Spin-Valveschicht.

[0067] [Fig. 8](#) zeigt die Beziehung der Dicke der Ni-Legierungsschicht und der Magnetostruktionskonstanten λ_s von Ni Fe-Legierungsschichten (freien Magnetschichten **5**) mit verschiedenen Nickelanteilen von 82, 83, 84 und 85 Atomprozent bei ansonsten unveränderter Konfiguration der Spin-Valveschicht (Oben-PtMn-Konfiguration und Glühbedingungen).

[0068] Wie in [Fig. 9](#) zu sehen ist, verschob sich bei sämtlichen Nickel-Anteilen die Magnetostruktionskonstante der Schicht aus der NiFe-Legierung in Richtung größerer negativer Werte bei zunehmender Dicke der Schicht aus der NiFe-Legierung. Die Kurve der Magnetostruktionskonstanten verschob sich zur positiven Seite, als der Nickelanteil der NiFe-Legierung verringert wurde.

[0069] In einer Spin-Valveschicht, in der eine antiferromagnetische Schicht aus einer PtMn-Legierung unterhalb einer freien magnetischen Schicht **5** aus einer NiFe-Legierung ausgebildet wurde (im folgenden wird diese Konfiguration als Unten-PtMn-Konfiguration bezeichnet), und bei einer Spin-Valveschicht, in der antiferromagnetische Schichten aus einer PtMn-Legierung sowohl oberhalb als auch unterhalb einer freien magnetischen Schicht **5** aus einer NiFe-Legierung ausgebildet waren (im folgenden wird diese Konfiguration als Doppel-Konfiguration bezeichnet) ergab sich folgende Beziehung zwischen der Dicke der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten: die Spin-Valvedünnschicht mit der Unten-PtMn-Konfiguration enthielt ausgehend von unten: ein Siliziumsubstrat, eine Aluminiumoxidschicht, eine Unterlagenschicht aus Tantal (50 Å), eine antiferro-

magnetische Schicht aus PtMn (300 Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (30 Å), eine freie magnetische Schicht **5** aus NiFe (variable Dicke) und eine Schutzschicht aus Tantal (50 Å). Die Spin-Valve-Dünnschicht mit der Doppel-Konfiguration enthält von unten ausgehend ein Siliziumsubstrat, eine Aluminiumoxidschicht, eine Unterlagenschicht aus Tantal (50 Å), eine antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300 Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (30 Å), eine freie magnetische Schicht **5** aus NiFe (variable Dicke), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (30 Å), eine antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300 Å) und eine Schutzschicht aus Tantal (50 Å). Die Zahlenangaben in den Klammern bedeuten die jeweilige Schichtdicke. Der Nickelanteil der NiFe-Legierung in der freien Magnetschicht **5** betrug 83,5 Atomprozent. Die fixierte magnetische Schicht wurde weggelassen, um eine korrekte Messung der Magnetostruktionskonstanten zu ermöglichen, wie oben bereits erläutert wurde. Außerdem betrug in der obigen Konfiguration der Nickelanteil in der Schicht aus der NiFe-Legierung 83,5 Atomprozent, die Relation zwischen der Dicke der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ s wird im folgenden beschrieben.

[0070] [Fig. 10](#) ist eine grafische Darstellung der Relation zwischen der Dicke der Magnetostruktionskonstanten für den Fall, daß die Spin-Valveschicht in der oben beschriebenen Weise gegläht wurde. Die Magnetostruktionskonstante verschob sich zu mehr negativen Werten, als die Dicke der Schicht aus der NiFe-Legierung erhöht wurde. Die Verschiebung in Richtung negativer Werte war bei der Doppel-Konfiguration deutlicher ausgeprägt als bei der Oben-PtMn-Konfiguration, am deutlichsten war sie bei der Unten-PtMn-Konfiguration ausgeprägt.

[0071] Der bevorzugte Bereich für die Magnetostruktionskonstante betrug -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugt $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0, wie oben erläutert wurde. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt ist, war der Absolutwert der Magnetostruktionskonstanten dann extrem hoch, als die Dicke der freien Magnetschicht **5** aus NiFe besonders stark gesteigert wurde.

[0072] Die Relation zwischen der Dicke und der Rate der Widerstandsänderung wird im folgenden anhand von zwei Typen von Spin-Valvetypen beschrieben. Der erste Typ der Spin-Valveschicht hatte folgende Konfiguration ausgehend von unten: ein Siliziumsubstrat, eine Schicht aus Aluminiumoxid (Al_2O_3), eine Tantal-Unterlagenschicht (50 Å), eine freie Magnetschicht **5** aus NiFe (variable Dicke), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (30 Å), eine fixierte Magnetschicht aus Kobalt (40 Å), eine antiferromagnetische PtMn-Schicht (300 Å) und eine Tantal-Schutzschicht (50 Å).

[0073] Der zweite Typ der Spin-Valveschicht hatte eine freie Magnetschicht **5**, zusammengesetzt aus einem NiFe-Legierungsfilm und einer Schicht aus metallischem Kobalt oder einer Kobaltlegierung. Einer der Spin-Valvefilme des zweiten Typs hatte folgenden Aufbau von unten: ein Siliziumsubstrat, eine Schicht aus Aluminiumoxid (Al_2O_3), eine Tantal-Unterlagenschicht (50 Å), eine freie Magnetschicht **5** aus NiFe (variable Dicke), eine freie Magnetschicht **5** aus Co (10 Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (24 Å), eine fixierte Magnetschicht aus Kobalt (40 Å), eine antiferromagnetische PtMn-Schicht (300 Å) und eine Tantal-Schutzschicht (50 Å). In der anderen Spin-Valve-Verbundschicht des zweiten Typs war anstelle der freien magnetischen Schicht **5** aus Co eine freie magnetische Schicht **5** aus CoFe (10 Å) enthalten. Die Angaben in den Klammern bedeuten die jeweiligen Schichtdicken.

[0074] [Fig. 11](#) zeigt in Form einer grafischen Darstellung die Rate oder Geschwindigkeit der Widerstandsänderung dieser Spin-Valveschichten, die drei Stunden lang in einem Magnetfeld von zwei kOe bei 240°C gegläht wurden. Die Rate der Widerstandsänderung nahm mit zunehmender Dicke der freien Magnetschicht **5** bis hin zu 50 Å zu, um dann allmählich mit weiterer Zunahme der Schichtdicke abzunehmen. Die Zunahme der Geschwindigkeit der Widerstandsänderung bei einer Dicke von weniger als 50 Å legt nahe, daß die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen etwa 50 Å betrug.

[0075] [Fig. 11](#) zeigt außerdem, daß die den Film aus einer NiFe-Legierung und die Schicht aus metallischem Kobalt oder einer Kobaltlegierung enthaltende freie Magnetschicht **5** eine höhere Rate der Widerstandsänderung besaß als die als Einzelschicht ausgebildete freie Magnetschicht **5** aus der NiFe-Legierung.

[0076] [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) zeigen, daß die bevorzugte Dicke der freien Magnetschicht **5** erfindungsgemäß in einem Bereich von 30 bis 100 Å liegt. In einem solchen Dickenbereich konnte die Magnetostruktionskonstante λ s auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} bei der Oben-PtMn-Konfiguration und der Doppel-Konfiguration eingestellt werden, wie aus [Fig. 10](#) hervorgeht, wobei die Änderungsgeschwindigkeit des Widerstands mehr als 2% betrug, wie aus [Fig. 11](#) hervorgeht. Da ein konventionelles AMR-Element eine Rate der Widerstandsänderung von etwa 2 aufweist, besaß der Spin-Valvefilm gemäß der Erfindung eine signifikant hohe Rate der Widerstandsänderung im Vergleich zu dem konventionellen AMR-Element.

[0077] Allerdings betrug bei der Unten-PtMn-Konfiguration die Magnetostruktionskonstante λ s weniger als -2×10^{-6} , als die Dicke des Films aus der NiFe-Legierung in einem Bereich von 30 bis 100 Å lag. Wie

in [Fig. 9](#) gezeigt ist, konnte die Magnetostruktionskonstante λ_s durch Verringern des Nickelanteils in der NiFe-Legierungsschicht auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} eingestellt werden.

[0078] Erfindungsgemäß wurde durch Versuche mit einer Dicke der freien magnetischen Schicht **5** aus NiFe in einem Bereich von 30 bis 100 Å die optimale Zusammensetzung der NiFe-Legierung für die Erzielung einer Magnetostruktionskonstanten λ_s von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugter von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 ermittelt. In der Oben-PtMn-Konfiguration, der Unten-PtMn-Konfiguration und der Doppel-Konfiguration, wie sie oben angegeben wurden, wurden die Schichten gegläht.

[0079] Bei den Versuchen wurde die Beziehung zwischen dem Nickelanteil des NiFe-Legierungsfilms und der Magnetostruktionskonstanten untersucht, wobei die Dicke am unteren Grenzwert, d. h. bei 30 Å lag, und die Dicke am oberen Grenzbereich, d. h. bei 100 Å lag, um die optimale Zusammensetzung dafür zu ermitteln, daß eine Magnetostruktionskonstante λ_s von vorzugsweise -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugter von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 erreicht wurde.

[0080] [Fig. 12](#) zeigt die Versuchsergebnisse für die Spin-Valveschicht mit der Oben-PtMn-Konfiguration. [Fig. 12](#) vermittelt, daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** dann auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} eingestellt werden konnte, wenn der Ni-Anteil innerhalb eines Bereichs von 82 bis 85 Atomprozent lag. Darüberhinaus ließ sich die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** dann auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 einstellen, als der Ni-Anteil in einem Bereich von 82,7 bis 84,4 Atomprozent lag.

[0081] [Fig. 13](#) zeigt die Versuchsergebnisse der Spin-Valveschicht mit der Unten-PtMn-Konfiguration. [Fig. 13](#) vermittelt, daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** dann auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} eingestellt werden konnte, wenn der Ni-Anteil in einem Bereich von 81,3 bis 83,7 Atomprozent lag. Außerdem konnte die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 gehalten werden, wenn der Ni-Anteil in einem Bereich von 81,6 bis 82,5 Atomprozent lag.

[0082] [Fig. 14](#) zeigt die Versuchsergebnisse für den Spin-Valvefilm mit der Doppel-Konfiguration. [Fig. 14](#) zeigt, daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} beschränkt werden sollte, wenn der Ni-Anteil in einem Bereich von 81,7 bis 84 Atomprozent liegt. Außerdem sollte die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 beschränkt werden, wenn der Ni-Anteil in einem Bereich von 82,3 bis 83 Atomprozent liegt.

[0083] Im folgenden werden die Gründe dafür diskutiert, warum der optimale Nickelanteil in der NiFe-Legierung der freien Magnetschicht **5** Unterschiede zwischen der Oben-PtMn-Konfiguration, der Unten-PtMn-Konfiguration und der Doppel-Konfiguration aufweist und sich die Magnetostruktionskonstante mit der Dicke der Schicht aus der NiFe-Legierung ändert.

[0084] Bei dem Spin-Valvefilm mit der Oben-PtMn-Konfiguration befand sich die ferromagnetische NiFe-Schicht der freien Magnetschicht **5** mit Magnetostruktionskennwerten zwischen dem nichtmagnetischen Tantalfilm (der Unterlagenschicht) und dem nichtmagnetischen Kupferfilm (der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht). Bei der Spin-Valveschicht mit der Unten-PtMn-Konfiguration befand sich die ferromagnetische NiFe-Schicht der freien Magnetschicht **5** mit Magnetostruktionskennwerten zwischen dem nichtmagnetischen Kupferfilm (der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht) und dem nichtmagnetischen Tantalfilm (der Unterlagenschicht). Bei dem Spin-Valvefilm mit der Doppel-Konfiguration befand sich der ferromagnetische NiFe-Film der freien Magnetschicht **5** mit Magnetostruktionskennlinie zwischen den beiden nichtmagnetischen Kupferschichten.

[0085] Es ist allgemein bekannt, daß die Magnetostruktionskonstante der NiFe-Legierung äußerst empfindlich ist bezüglich der Zusammensetzung der NiFe-Legierung, und daß sich die Magnetostruktionskonstante mit dem Anteil und dem Typ eines nichtmagnetischen Elements ändert, welches der NiFe-Legierung beigegeben wird.

[0086] In der freien Magnetschicht **5** des Spin-Valvefilms wurden die nichtmagnetischen Schichten oberhalb und/oder unterhalb der Schicht aus der NiFe-Schicht mit einer Dicke von mehreren zehn Atomlagen ausgebildet. Bei einer solchen Konfiguration gelangen nichtmagnetische Atome, beispielsweise Tantal und Kupfer, in direkte Berührung mit ferromagnetischen Atomen, beispielsweise Nickel und Eisen, in der Schicht aus der Ni-Fe-Legierung. Die Magnetostruktionskonstante der ferromagnetischen Atome in direkter Berührung mit den nichtmagnetischen Atomen variierte. Die Änderung der Magnetostruktionskonstanten war unter den Typen der nichtmagnetischen Filme unterschiedlich, d. h. es gab Unterschiede zwischen dem Tantal- und dem Kupferfilm. Dementsprechend war auch die optimale Zusammensetzung der Ni-Fe-Legierung der freien magnetischen Schicht **5** zwischen den verschiedenen Konfigurationen der Spin-Valvefilme unterschiedlich.

[0087] Beim Glühen der Spin-Valveschicht bildete sich eine Wärmediffusionsschicht an der Grenzfläche zwischen der freien Magnetschicht **5** aus Ni-Fe und dem nichtmagnetischen Film aus Kupfer oder Tantal aus, was den Kontakt der ferromagnetischen Atome

in der Ni-Fe-Legierungsschicht mit den nichtmagnetischen Atomen erleichterte. Die Dicke der Wärmediffusionsschicht hing von der Glühzeit, der Glühzeit, dem Typ des nichtmagnetischen Films und der Lage (oben oder unten) der nichtmagnetischen Schicht ab, hing allerdings nicht ab von der Dicke des NiFe-Legierungsfilms. Bei abnehmender Dicke dieses Films aus der NiFe-Legierung nahm die Rate der Wärmediffusionsschicht in der NiFe-Legierungsschicht zu. Folglich wurde die Magnetostruktionskonstante stark beeinflusst durch die Wärmediffusionsschicht, wenn die Dicke der NiFe-Legierungsschicht abnahm. Dementsprechend schwankte die Magnetostruktionskonstante mit der Dicke der NiFe-Legierungsschicht und dem Glühen.

[0088] Da nichtmagnetische Werkstoffe auf beiden Seiten des NiFe-Legierungsfilms zwischen den Konfigurationen der Spin-Valvefilme unterschiedlich waren, unterschieden sich auch die optimalen Zusammensetzungen der NiFe-Legierung für die Erzielung der erforderlichen Magnetostruktionskonstanten. Darüberhinaus unterschied sich das Ausmaß der Fehlanpassung oder des Entsprechungsgrades der Kristallgitter an der Grenzfläche zwischen den Konfigurationen der Spin-Valvefilme, d. h., die Reihenfolge der Schichten, auch wenn die gleichen nichtmagnetischen Werkstoffe verwendet wurden. Dementsprechend waren Anzahl und Zustand der ferromagnetischen Atome, die in direkter Berührung mit den nichtmagnetischen Atomen standen, zwischen den jeweiligen Konfigurationen unterschiedlich. Außerdem war zwischen den Konfigurationen der Wärmediffusionskoeffizient an der Grenzfläche verschieden. Dementsprechend unterscheiden sich die optimalen Zusammensetzungen der NiFe-Legierung für die freie Magnetschicht **5** zwecks Erreichung der erforderlichen Magnetostruktionskonstanten von Konfiguration zu Konfiguration des Spin-Valvefilms.

[0089] In einem Schichtaufbau, der eine freie Magnetschicht **5** aus einer NiFe-Legierung und einen Film aus einer CoFe-Legierung oder einer Legierung aus Co-Basis bei einer Gesamtdicke der freien magnetischen Schicht **5** von 80 Å enthält, ergeben sich folgende Beziehungen zwischen der Dicke der Schicht aus der CoFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s :

Eine Spin-Valve-Dünnschicht mit einer ober-PtMn-Konfiguration zur Messung der Magnetostruktionskonstanten enthielt von unten nach oben: ein Siliziumsubstrat, eine Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3), eine Tantal-Unterlagenschicht (50 Å), eine freie magnetische NiFe-Schicht **5** (80-X Å), eine freie Magnetschicht aus CoFe **5** (X Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Kupfer (30 Å), eine antiferromagnetische PtMn-Schicht (300 Å) und eine Tantal-Schutzschicht (50 Å).

[0090] Eine Spin-Valve-Dünnschicht mit einer Unten-PtMn-Konfiguration enthielt ausgehend von unten: ein Siliziumsubstrat, eine Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3), eine Tantal-Unterlagenschicht (50 Å), eine antiferromagnetische PtMn-Schicht (300 Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (30 Å) aus Kupfer, eine freie magnetische Schicht **5** aus CoFe (X Å), eine freie magnetische NiFe-Schicht **5** (80-X Å) und eine Tantal-Schutzschicht (50 Å).

[0091] Eine Spin-Valve-Dünnschicht mit Doppel-Konfiguration enthielt ausgehend von unten: ein Siliziumsubstrat, eine Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3), eine Tantal-Unterlagenschicht (50 Å), eine antiferromagnetische PtMn-Schicht (300 Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Kupferschicht (30 Å), eine freie magnetische CoFe-Schicht **5** (X/2 Å), eine freie magnetische NiFe-Schicht **5** (80-X Å), eine freie magnetische CoFe-Schicht **5** (X/2 Å), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Kupferschicht (30 Å), eine antiferromagnetische Schicht (30 Å) und eine Tantal-Schutzschicht (50 Å).

[0092] Die Zahlenangaben in Klammern bedeuten die jeweilige Schichtdicke. Der Nickelanteil in der NiFe-Legierung für die freie Magnetschicht **5** betrug 83, 5 Atomprozent. Der Kobaltanteil in der CoFe-Legierung für die freie Magnetschicht **5** betrug 90 Atomprozent. Die fixierte Magnetschicht wurde weggelassen, um eine korrekte Messung der Magnetostruktionskonstante zu erreichen, wie sie in [Fig. 8](#) dargestellt ist. Der Spin-Valvefilm gemäß [Fig. 8](#) wurde geätzt.

[0093] Die Gesamtdicke der freien magnetischen Schicht **5** wurde auf 80 Å festgelegt, während die Dicke der Schicht aus der CoFe-Legierung zwischen 0 und 80 Å geändert wurde. [Fig. 15](#) zeigt die Beziehung zwischen der Dicke der Schicht aus der Co Fe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten.

[0094] Wie in [Fig. 15](#) zu sehen ist, verschob sich bei dem Spin-Valvefilm mit der Unten-PtMn-Konfiguration und dem mit der Doppel-Konfiguration die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** zur negativen Seite hin, als die Dicke der Schicht aus der CoFe-Legierung erhöht wurde (bei Verringerung der Dicke der NiFe-Legierungsschicht). Im Gegensatz dazu zeigte sich bei dem Spin-Valvefilm mit der Oben-PtMn-Konfiguration, daß sich die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** zur positiven Seite hin verschob, als die Dicke des CoFe-Legierungsfilms zunahm (bei abnehmender Dicke des NiFe-Legierungsfilms).

[0095] Bei einer Dicke des CoFe-Legierungsfilms von 40 Å oder darüber unterschied sich die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** in der Unten-PtMn- oder Doppel-Konfiguration signifikant von der Magnetostruktionskonstanten λ_s der freien Magnetschicht **5** bei der Oben-PtMn-Konfigura-

tion, und der Absolutwert der Magnetostruktionskonstanten λ_s war bei jeder Konfiguration beträchtlich. Deshalb wird erfindungsgemäß das Verhältnis der Dicke des CoFe-Legierungsfilms zu der Gesamtdicke der freien magnetischen Schicht **5** auf 0 bis 0,5 festgelegt, wenn die Gesamtdicke der freien magnetischen Schicht **5** einen Wert von 30 bis 100 Å hat. Ein derartiges Verhältnis kann den Absolutwert der Magnetostruktionskonstanten λ_s verringern.

[0096] Fig. 15 zeigt außerdem, daß das bevorzugte Verhältnis der Dicke des CoFe-Legierungsfilms zur Gesamtdicke der freien Magnetschicht **5** im Bereich von 0 bis 0,5 liegt und daß die bevorzugte Dicke des CoFe-Legierungsfilms im Bereich von 0 bis 40 Å liegt.

[0097] Die Magnetostruktionskonstante λ_s konnte zur positiven oder negativen Seite hin verschoben werden, indem der Ni-Anteil der NiFe-Legierung geändert wurde, wie in Fig. 9 gezeigt ist. Somit wurde erfindungsgemäß die Zusammensetzung der NiFe-Legierung zur Erreichung einer Magnetostruktionskonstanten λ_s der freien Magnetschicht **5** im Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , bevorzugter von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 aus der Beziehung zwischen dem Ni-Anteil der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten bestimmt, bei der die Dicke der NiFe-Legierungsschicht als freie magnetische Schicht **5** einen Wert von 80 Å hatte oder die Dicke der beiden Schichten aus der NiFe-Legierung und der CoFe-Legierung als freie magnetische Schicht **5** einen Wert von 40 Å hatte.

[0098] Die Konfigurationen der im Versuch verwendeten Spin-Valvefilme waren die gleichen wie diejenigen gemäß Fig. 14, auch diese Spin-Valveschichten wurden gegläht.

[0099] Fig. 16 ist eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen dem Nickelanteil der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in dem Spin-Valvefilm mit der Oben-PtMn-Konfiguration. Fig. 16 zeigt, daß die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} eingestellt werden konnte, als der Nickelanteil im Bereich von 82 bis 85 Atomprozent lag, und auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 eingestellt werden konnte, wenn der Nickelanteil im Bereich von 83 bis 84 Atomprozent lag.

[0100] Fig. 17 ist eine grafische Darstellung der Relation zwischen dem Nickelanteil der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in der Spin-Valveschicht mit der Unten-PtMn-Konfiguration. Fig. 17 zeigt, daß die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** dann auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} eingestellt werden konnte, wenn der Nickelanteil im Bereich von 80 bis 83 Atomprozent lag, und auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 eingestellt werden konnte, wenn der Nickelanteil im Bereich von 81 bis 82 Atomprozent lag.

[0101] Fig. 18 ist eine grafische Darstellung der Relation zwischen dem Nickelanteil der NiFe-Legierung und der Magnetostruktionskonstanten λ_s in dem Spin-Valvefilm mit Doppel-Konfiguration. Fig. 18 zeigt, daß die Magnetostruktionskonstante λ_s der freien Magnetschicht **5** auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} eingestellt werden konnte, wenn der Nickelanteil im Bereich von 81 bis 83,7 Atomprozent lag, sogar auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 eingestellt werden konnte, wenn der Nickelanteil im Bereich von 81,7 bis 82,8 Atomprozent lag.

[0102] Wie in Fig. 7 zu sehen ist, erhöhte sich die anisotrope magnetische Dispersion aufgrund magnetoelastischer Effekte in Höhenrichtung (Richtung der Y-Achse), wenn die Magnetostruktionskonstante an einer Stelle (der mittleren Zone) der freien Magnetschicht **5**, wo Zugspannung aufgebracht wird, positiv ist. Somit ist die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht **5** vorzugsweise möglichst wenig positiv, bevorzugter negativ.

[0103] Eine stark negative Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht **5** ruft in unerwünschter Weise eine starke anisotrope magnetische Dispersion aufgrund des magnetoelastischen Effekts in Höhenrichtung (Richtung der Y-Achse) an den beiden Endbereichen der freien magnetischen Schicht **5** hervor, wo Druckspannung aufgebracht wird. Dementsprechend liegt die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} , vorzugsweise $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0.

[0104] Der Nickelanteil in einer bevorzugten NiFe-Legierung für die freie Magnetschicht **5** wurde für eine Dicke der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von 30 bis 100 Å untersucht (Fig. 11–Fig. 13).

[0105] Befindet sich die antiferromagnetische Schicht **2** oberhalb der freien Magnetschicht **5**, wie es bei dem Magnetowiderstandselement nach Fig. 1 der Fall ist, wird der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf 82 bis 85 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** im Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegt, bevorzugter wird auf Werte von 82,7 bis 84, 2 Atomprozent eingestellt, demzufolge die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 liegt.

[0106] Wenn die antiferromagnetische Schicht **2** unterhalb der freien Magnetschicht **5** liegt, wie es bei dem in Fig. 2 gezeigten Magnetowiderstandselement der Fall ist, wird der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf 81 bis 83 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** im einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegt, vorzugsweise wird der Nickelanteil auf einen Wert von 81,6 bis 82,5 Atomprozent eingestellt, sodaß die Magnetostruktionskonstante der freien Ma-

gnetschicht **5** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 liegt.

[0107] Wenn die antiferromagnetische Schichten **2** oberhalb und unterhalb der freien Magnetschicht **5** ausgebildet sind, wie es bei dem Magnetowiderstandselement nach [Fig. 3](#) der Fall ist, wird der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf einen Wert zwischen 81,7 bis 84 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegt, vorzugsweise wird der Nickelanteil auf 82,3 bis 83 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 liegt.

[0108] Erfindungsgemäß werden also die Dicke der freien Magnetschicht **5** und die Zusammensetzung der NiFe-Legierung für die freie Magnetschicht **5** in geeigneten Bereichen gehalten, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegt, bevorzugter in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0.

[0109] In der mittleren Zone der freien Magnetschicht **5**, die von der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht **6** weniger beeinflusst wird, ist die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung (in Richtung der Y-Achse) durch einen magnetoelastischen Effekt gering, und es wird ein anisotropes Magnetfeld durch den magnetoelastischen Effekt in Richtung der Spurbreite (Richtung der X-Achse) erzeugt. Folglich wird das Barkhausen-Rauschen verringert, und man erhält eine hohe Rate der Widerstandsänderung.

[0110] [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) sind Querschnittsansichten in der Nähe der Luftgrenzfläche der Spin-Valve-Magnetowiderstands-Bauelemente einer vierten Ausführungsform, einer fünften Ausführungsform bzw. einer sechsten Ausführungsform gemäß der Erfindung, wobei diese Ausführungsformen von Magnetowiderstandselementen dazu dienen, aufgezeichnete Magnetfelder von Aufzeichnungsträgern zu lesen, beispielsweise von Festplatten.

[0111] In einem Magnetowiderstandselement vom Spin-Valvetyp **1**, wie es jeweils in den [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) dargestellt ist, besitzt die freie Magnetschicht **5** einen lagenweisen Aufbau oder Mehrschichtaufbau, zusammengesetzt aus einer NiFe-Teilschicht **5** und einer freien magnetischen Teilschicht **10** aus einer Kobalt-Legierung oder aus metallischem Kobalt. Der übrige Schichtaufbau ist der gleiche wie in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#).

[0112] Wie aus [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) ersichtlich ist, wird die freie magnetische Teilschicht **10** auf Kobaltbasis vorzugsweise derart ausgebildet, daß sie in Berührung mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden

Schicht **4** steht. Eine solche Konfiguration führt zu einer hohen Rate der Widerstandsänderung, wie aus [Fig. 11](#) hervorgeht, es entsteht also ein starkes Magnetkopf-Ausgangssignal.

[0113] Die Gesamtdicke der freien magnetischen Teilschicht **5** und der freien magnetischen Teilschicht **10** liegt vorzugsweise in einem Bereich von 30 bis 100 Å. Darüberhinaus liegt das Verhältnis der freien magnetischen Teilschicht **10** aus einer Kobaltlegierung oder metallischem Kobalt zu der Gesamtdicke der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** vorzugsweise in einem Bereich von 0 bis 0,5. Darüberhinaus liegt die Dicke der freien magnetischen Teilschicht **10** auf Kobaltbasis vorzugsweise in einem Bereich von 0 bis 40 Å. Durch geeignete Kombination der oben angegebenen Gesamtdicke der freien magnetischen Teilschichten, der angegebenen Dicke der freien magnetischen Teilschicht **10** und des oben erläuterten Ni-Anteils innerhalb der NiFe-Legierung der freien magnetischen Teilschicht **5** läßt sich die Magnetostruktionskonstante λ s der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** auf -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} bevorzugter auf $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 einstellen.

[0114] Der bevorzugte Nickelanteil der in NiFe-Legierung wurde empirisch für den Fall ermittelt, daß die freie Magnetschicht **5** einen Teilschichtaufbau mit einer Teilschicht **5** aus einer NiFe-Legierung und einer Teilschicht **10** aus einer CoFe-Legierung besaß, während die Gesamtdicke der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** 80 Å betrug und die Dicke der freien magnetischen Teilschicht **10** zwischen 0 und 40 Å variiert wurde (vgl. [Fig. 15](#) bis [Fig. 17](#)).

[0115] Als die antiferromagnetische Schicht **2** oberhalb der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** ausgebildet war, wie es bei dem Magnetowiderstandselement nach [Fig. 4](#) der Fall ist, wurde der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf 82 bis 85 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} lag, und wurde vorzugsweise auf einen Wert von 83 bis 84 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ und 0 lag.

[0116] Im Fall der antiferromagnetischen Schicht **2** unterhalb der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** entsprechend dem in [Fig. 5](#) gezeigten Magnetowiderstandselement wurde der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf 80 bis 83 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} lag, vorzugsweise wurde der Anteil auf 81 bis 82 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien ma-

gnetischen Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ und 0 lag.

[0117] Im Fall der antiferromagnetische Schicht **2** unterhalb der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** entsprechend dem in [Fig. 5](#) gezeigten Magnetowiderstandselement wird der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf 80 bis 83 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} lag, vorzugsweise wurde der Anteil auf 81 bis 82 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ und 0 lag.

[0118] Wenn die antiferromagnetische Schicht **2** oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** ausgebildet sind, wie es der Fall bei dem in [Fig. 6](#) gezeigten Magnetowiderstandselement ist, wird der Nickelanteil der NiFe-Legierung vorzugsweise auf 81 bis 83,7 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegen, vorzugsweise wird er auf 81,7 bis 82,8 Atomprozent eingestellt, so daß die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ und 0 liegt.

[0119] Erfindungsgemäß werden also die Dicken der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** und die Zusammensetzung der NiFe-Legierung der freien magnetischen Schicht **5** innerhalb geeigneter Grenzen gehalten, so daß die Magnetostruktionskonstante der magnetischen Teilschichten **15** und **19** im Bereich von -2×10^{-6} bis 1×10^{-6} liegt, vorzugsweise in einem Bereich von $-0,5 \times 10^{-6}$ und 0.

[0120] In der mittleren Zone der freien magnetischen Teilschicht **5** und **10**, die weniger durch die Vormagnetisierungsschicht **6** beeinflusst ist, ist die anisotrope magnetische Dispersion in Höhenrichtung (Richtung der Y-Achse) aufgrund des magnetoelastischen Effekts gering, und es wird in Richtung der Spurbreite (in Richtung der X-Achse) durch den magnetoelastischen Effekt ein anisotropes Magnetfeld erzeugt. Deshalb kann die Magnetisierung über die gesamte Erstreckung der beiden freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** in geeigneter Weise in Richtung der Spurbreite (in Richtung der X-Achse) orientiert werden. Auf diese Weise wird das Barkhausen-Rauschen reduziert, und man erreicht eine hohe Rate der Widerstandsänderung.

[0121] Wenn – wie oben beschrieben – die Dicke der freien magnetischen Teilschichten **5** und **10** aus einer NiFe-Legierung in einem Bereich von 30 bis 100 Å liegt, und wenn die Zusammensetzung der NiFe-Legierung in geeigneter Weise festgelegt ist, wird eine

Magnetostruktionskonstante der freien Magnetschicht **5** von zwischen -2×10^{-6} und 1×10^{-6} , bevorzugter von $-0,5 \times 10^{-6}$ und 0 erreicht.

[0122] Wenn – alternativ – die Dicke der zusammengesetzten freien magnetischen Schicht **5** bestehend aus einer Teilschicht aus einer NiFe-Legierung und einer Teilschicht aus metallischem Kobalt oder einer Co-Legierung, in einem Bereich von 30 bis 100 Å liegt, das Verhältnis der Dicke der Co- oder Co-Legierungs-Teilschicht zu der Gesamtdicke der freien Magnetschicht **5** in einem Bereich von 0 bis 0,5 liegt, und wenn die Zusammensetzung der NiFe-Legierung in geeigneter Weise festgelegt ist, läßt sich die Magnetostruktionskonstante der freien magnetischen Schicht **5** auf einen Wert von -2×10^{-6} und 1×10^{-6} , bevorzugter auf einen Wert von $-0,5 \times 10^{-6}$ bis 0 einstellen.

Patentansprüche

1. Magnetostruktions-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvetypp, umfassend:

mindestens eine antiferromagnetische Schicht (**2**); eine fixierte magnetische Schicht (**3**), die in Berührung mit der antiferromagnetische Schicht (**2**) steht, und deren Magnetisierungsrichtung festgelegt wird durch ein mit der antiferromagnetischen Schicht (**2**) ausgetauschtes anisotropes Austauschmagnetfeld; eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (**4**), die zwischen der fixierten magnetischen Schicht (**3**) und einer freien magnetischen Schicht (**5**) ausgebildet ist;

eine Vormagnetisierungsschicht (**6**) zum Orientieren der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht (**5**) in eine Richtung, die die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht (**3**) kreuzt; und eine elektrisch leitende Schicht (**9**) zum Zuführen eines Lesestroms zu der fixierten magnetischen Schicht (**3**), der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht (**4**) und der freien magnetischen Schicht (**5**);

wobei die freie magnetische Schicht (**5**) einen Film aus einer NiFe-Legierung enthält, der eine Dicke im Bereich von 30 bis 100 Å aufweist; und wobei die antiferromagnetische Schicht oberhalb der freien magnetischen Schicht (**5**) ausgebildet ist, und der Film aus der NiFe-Legierung als Bestandteil der freien magnetischen Schicht einen Ni-Anteil im Bereich von 82 bis 85 Atomprozent besitzt.

2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem der Ni-Anteil des aus der NiFe-Legierung bestehenden Films als Bestandteil der freien magnetischen Schicht in einem Bereich von 82,7 bis 84,4 Atomprozent liegt.

3. Magnetostruktions-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvetypp, umfassend:

mindestens eine antiferromagnetische Schicht (**2**);

eine fixierte magnetische Schicht (3), die in Berührung mit der antiferromagnetische Schicht (2) steht, und deren Magnetisierungsrichtung festgelegt wird durch ein mit der antiferromagnetischen Schicht (2) ausgetauschtes anisotropes Austauschmagnetfeld; eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (4), die zwischen der fixierten magnetischen Schicht (3) und einer freien magnetischen Schicht (5) ausgebildet ist;

eine Vormagnetisierungsschicht (6) zum Orientieren der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht (5) in eine Richtung, die die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht (3) kreuzt; und eine elektrisch leitende Schicht (9) zum Zuführen eines Lesestroms zu der fixierten magnetischen Schicht (3), der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht (4) und der freien magnetischen Schicht (5);

wobei die freie magnetische Schicht (5) einen Film aus einer NiFe-Legierung enthält, der eine Dicke im Bereich von 30 bis 100 Å aufweist; und

wobei die antiferromagnetische Schicht unterhalb der freien magnetischen Schicht (5) ausgebildet ist, und der Film aus der NiFe-Legierung als Bestandteil der freien magnetischen Schicht einen Ni-Anteil im Bereich von 81,6 bis 82,5 Atomprozent aufweist.

4. Magneto-resistenz-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvety, umfassend:

mindestens eine antiferromagnetische Schicht (2); eine fixierte magnetische Schicht (3), die in Berührung mit der antiferromagnetische Schicht (2) steht, und deren Magnetisierungsrichtung festgelegt wird durch ein mit der antiferromagnetischen Schicht (2) ausgetauschtes anisotropes Austauschmagnetfeld; eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (4), die zwischen der fixierten magnetischen Schicht (3) und einer freien magnetischen Schicht (5) ausgebildet ist;

eine Vormagnetisierungsschicht (6) zum Orientieren der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht (5) in eine Richtung, die die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht (3) kreuzt; und eine elektrisch leitende Schicht (9) zum Zuführen eines Lesestroms zu der fixierten magnetischen Schicht (3), der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht (4) und der freien magnetischen Schicht (5);

wobei die freie magnetische Schicht (5) einen Film aus einer NiFe-Legierung enthält, der eine Dicke im Bereich von 30 bis 100 Å aufweist; und

wobei zwei antiferromagnetische Schichten (2) vorgesehen sind, eine oberhalb und eine andere unterhalb der freien magnetischen Schicht (5), wobei der Film aus der NiFe-Legierung als Bestandteil der freien magnetischen Schicht (5) einen Ni-Anteil in einem Bereich von 81,7 bis 84 Atomprozent besitzt.

5. Bauelement nach Anspruch 4, bei dem der Ni-Anteil in dem Film der NiFe-Legierung als Bestand-

teil der freien magnetischen Schicht in einem Bereich von 82,3 bis 83 Atomprozent liegt.

6. Magneto-resistenz-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvety, umfassend:

mindestens eine antiferromagnetische Schicht (2); eine fixierte magnetische Schicht (3), die in Berührung mit der antiferromagnetischen Schicht (2) steht, und deren Magnetisierungsrichtung festgelegt wird durch ein mit der antiferromagnetische Schicht (2) ausgetauschtes anisotropes Austauschmagnetfeld; eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (4), die zwischen der fixierten magnetischen Schicht (3) und einer freien magnetischen Schicht (5) ausgebildet ist;

eine Vormagnetisierungsschicht (6) zum Orientieren der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht (5) in eine Richtung, die die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht (3) kreuzt; und eine elektrisch leitende Schicht (9) zum Zuführen eines Lesestroms zu der fixierten magnetischen Schicht (3), der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht (4) und der freien magnetischen Schicht (5);

wobei die freie magnetische Schicht einen Teilschichtaufbau aufweist, umfassend eine Teilschicht (5) aus einer NiFe-Legierung und eine Teilschicht (10) aus metallischem Kobalt oder aus einer Kobalt-Legierung mit einer Gesamtdicke von 30 bis 100 Å, wobei das Verhältnis der Dicke der Teilschicht aus metallischem Kobalt oder einer Kobalt-Legierung zu der Dicke der freien magnetischen Schicht in einem Bereich von 0 bis 0,5 liegt; und

wobei die antiferromagnetische Schicht oberhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet ist, wobei der Film aus der NiFe-Legierung als Bestandteil der freien magnetischen Schicht einen Ni-Anteil in einem Bereich von 82 bis 85 Atomprozent besitzt.

7. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem die Dicke der Teilschicht aus metallischem Kobalt oder einer Kobalt-Legierung im Bereich von 0 bis 40 Å liegt.

8. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem die Teilschicht aus metallischem Kobalt oder einer Kobalt-Legierung in Berührung mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht ausgebildet ist.

9. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem der Film aus der NiFe-Legierung als Bestandteil der freien magnetischen Schicht einen Ni-Anteil im Bereich von 83 bis 84 Atomprozent besitzt.

10. Magneto-resistenz-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvety, umfassend:

mindestens eine antiferromagnetische Schicht (2); eine fixierte magnetische Schicht (3), die in Berührung mit der antiferromagnetischen Schicht (2) steht, und deren Magnetisierungsrichtung festgelegt wird

durch ein mit der antiferromagnetische Schicht (2) ausgetauschtes anisotropes Austauschmagnetfeld; eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht (4), die zwischen der fixierten magnetischen Schicht (3) und einer freien magnetischen Schicht (5) ausgebildet ist;

eine Vormagnetisierungsschicht (6) zum Orientieren der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht (5) in eine Richtung, die die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht (3) kreuzt; und eine elektrisch leitende Schicht (9) zum Zuführen eines Lesestroms zu der fixierten magnetischen Schicht (3), der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht (4) und der freien magnetischen Schicht (5);

wobei die freie magnetische Schicht einen Teilschichtaufbau aufweist, umfassend eine Teilschicht (5) aus einer NiFe-Legierung und eine Teilschicht (10) aus metallischem Kobalt oder aus einer Kobalt-Legierung mit einer Gesamtdicke von 30 bis 100 Å, wobei das Verhältnis der Dicke der Teilschicht aus metallischem Kobalt oder einer Kobalt-Legierung zu der Dicke der freien magnetischen Schicht in einem Bereich von 0 bis 0,5 liegt; und

wobei zwei antiferromagnetische Schichten vorhanden sind, eine oberhalb und eine andere unterhalb der freien magnetischen Schicht, wobei der Film aus der NiFe-Legierung als Bestandteil der freien magnetischen Schicht einen Ni-Anteil in einem Bereich von 81,7 bis 82,8 Atomprozent besitzt.

11. Bauelement nach Anspruch 1, mit einer antiferromagnetischen Schicht in Form eines PtMn-Legierungsfilms.

12. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem die antiferromagnetische Schicht eine Legierung aufweist, ausgewählt aus einer X-Mn-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Pd, Ru, Ir, Os und Rh; und einer Pt-Mn-X-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co.

13. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem die antiferromagnetische Schicht einen Film aus einer Pt-Mn-Legierung aufweist.

14. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem die antiferromagnetische Schicht eine Legierung aufweist, ausgewählt aus einer X-Mn-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Pd, Ru, Ir, Os und Rh; und einer Pt-Mn-X-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co.

15. Bauelement nach Anspruch 3, mit einer antiferromagnetischen Schicht in Form eines PtMn-Legierungsfilms.

16. Bauelement nach Anspruch 3, bei dem die antiferromagnetische Schicht eine Legierung aufweist, ausgewählt aus einer X-Mn-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Pd, Ru, Ir, Os und Rh; und einer Pt-Mn-X-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co.

17. Bauelement nach Anspruch 4, wobei die eine und die andere antiferromagnetische Schicht einen PtMn-Legierungsfilm aufweist.

18. Bauelement nach Anspruch 4, bei dem die eine und die andere antiferromagnetische Schicht eine Legierung aufweist, ausgewählt aus einer X-Mn-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Pd, Ru, Ir, Os und Rh; und einer Pt-Mn-X-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co.

19. Bauelement nach Anspruch 10, bei dem die eine und die andere antiferromagnetische Schicht einen Film aus einer PtMn-Legierung aufweist.

20. Bauelement nach Anspruch 10, bei dem die eine und die andere antiferromagnetische Schicht eine Legierung aufweist, ausgewählt aus einer X-Mn-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Pd, Ru, Ir, Os und Rh; und einer Pt-Mn-X-Legierung mit X als mindestens ein Element aus der Gruppe Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Cr und Co.

21. Magnetoresistenz-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvetypp nach Anspruch 4, ferner aufweisend eine weitere nicht-magnetische elektrisch leitende Schicht, die auf der Ebene der freien magnetischen Schicht gebildet ist, welche nicht benachbart der nicht-magnetisch elektrisch leitenden Schicht ist, eine weitere fixierte magnetische Schicht, die auf der Ebene der weiteren nicht-magnetisch elektrisch leitenden Schicht gebildet ist, welche nicht benachbart der freien magnetischen Schicht ist und die andere antiferromagnetische Schicht, die auf der Ebene der weiteren fixierten magnetischen Schicht gebildet ist, welche nicht benachbart der weiteren nicht-magnetischen elektrisch leitenden Schicht ist, wobei die elektrisch leitende Schicht einen Messstrom zu der fixierten magnetischen Schicht, der nicht-magnetisch elektrisch leitenden Schicht, der freien magnetischen Schicht, der weiteren nichtmagnetisch elektrisch leitenden Schicht und der weiteren fixierten magnetischen Schicht leitet.

22. Magnetoresistenz-Dünnschichtbauelement vom Spin-Valvetypp nach Anspruch 10, ferner aufweisend eine weitere nicht-magnetische elektrisch leitende Schicht, die auf der Ebene der freien magnetischen Schicht gebildet ist, welche nicht benachbart der nicht-magnetisch elektrisch leitenden Schicht ist, eine weitere fixierte magnetische Schicht, die auf der

Ebene der weiteren nicht-magnetisch elektrisch leitenden Schicht gebildet ist, welche nicht benachbart der freien magnetischen Schicht ist und die andere antiferromagnetische Schicht, die auf der Ebene der weiteren fixierten magnetischen Schicht gebildet ist, welche nicht benachbart der weiteren nicht-magnetischen elektrisch leitenden Schicht ist, wobei die elektrisch leitende Schicht einen Messstrom zu der fixierten magnetischen Schicht, der nicht-magnetisch elektrisch leitenden Schicht, der freien magnetischen Schicht, der weiteren nichtmagnetisch elektrisch leitenden Schicht und der weiteren fixierten magnetischen Schicht leitet.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

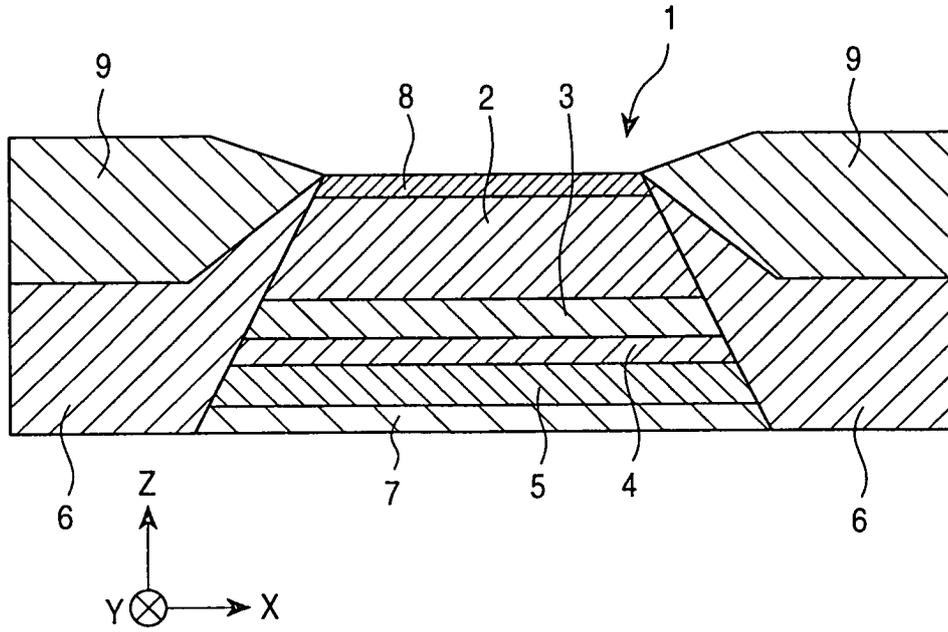


FIG. 2

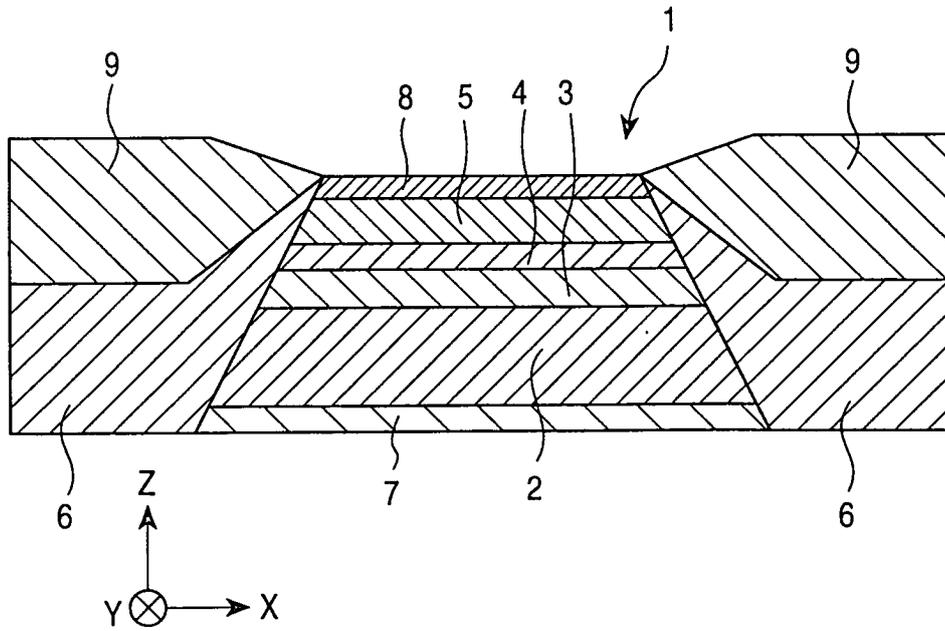


FIG. 3

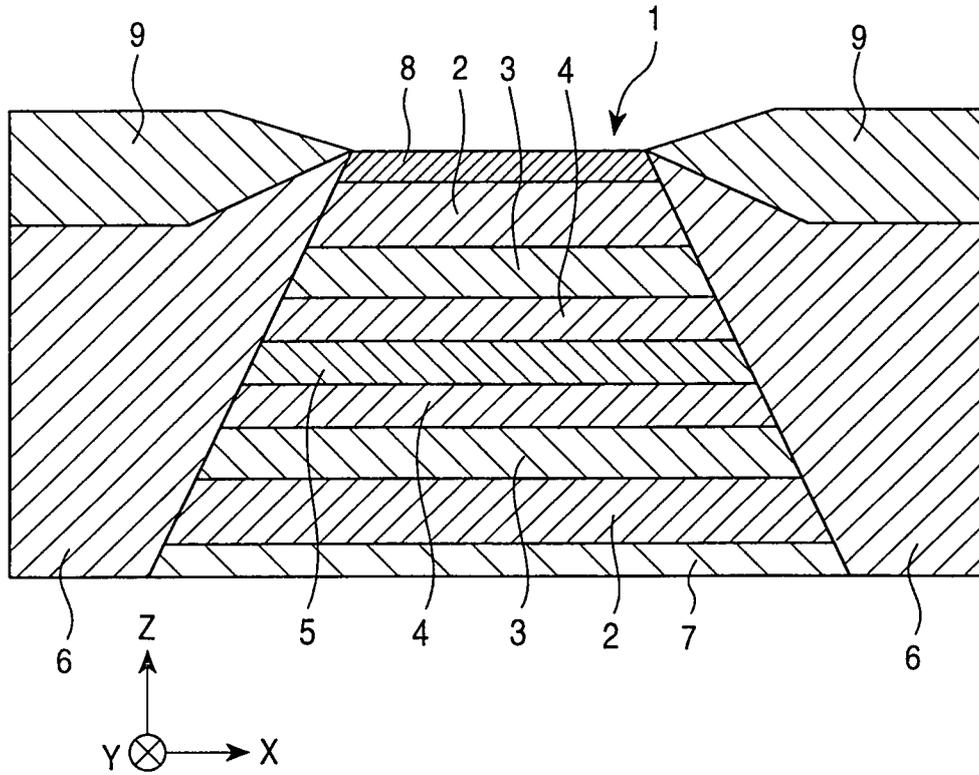


FIG. 4

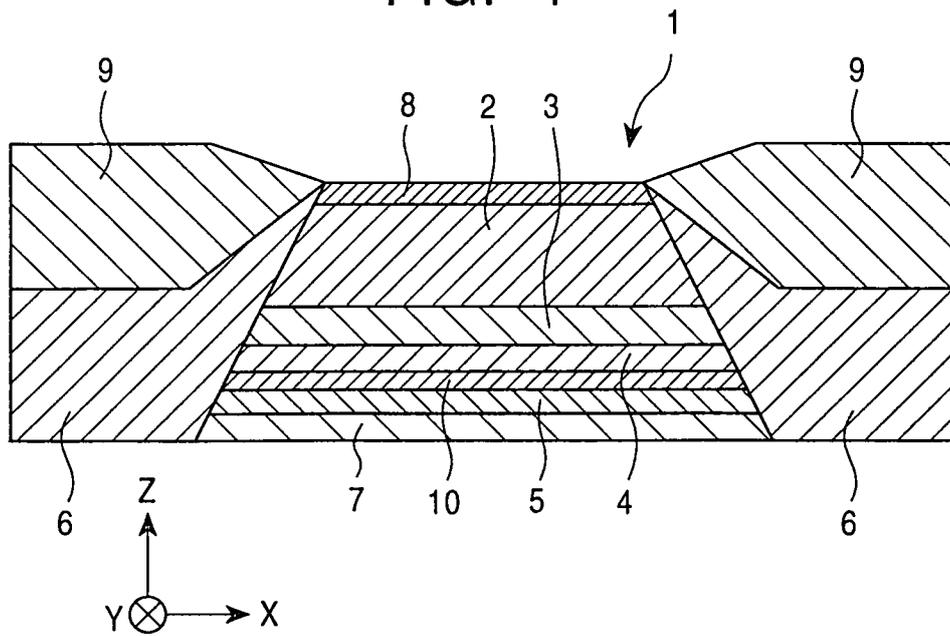


FIG. 5

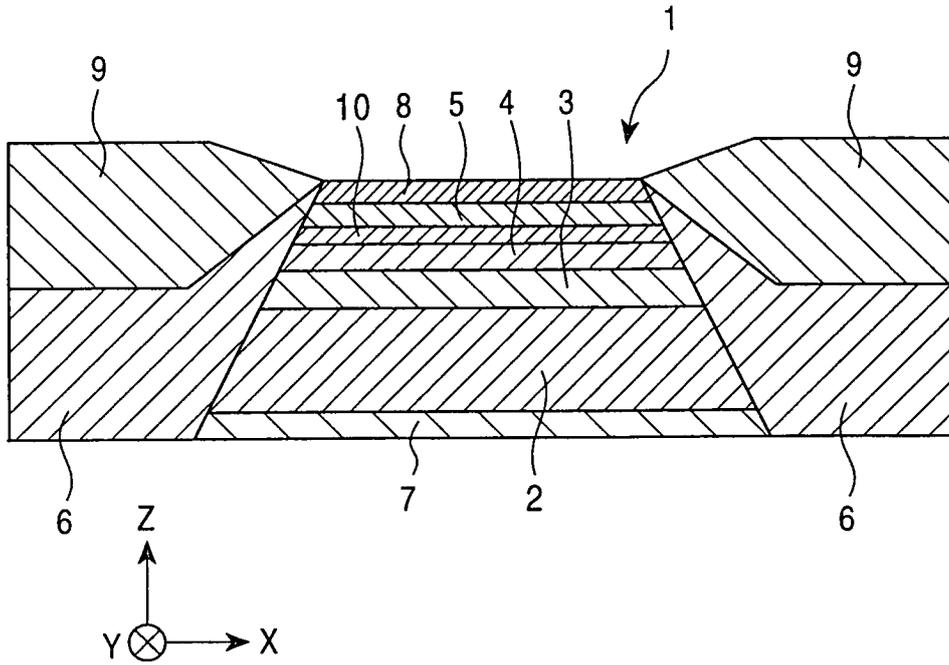


FIG. 6

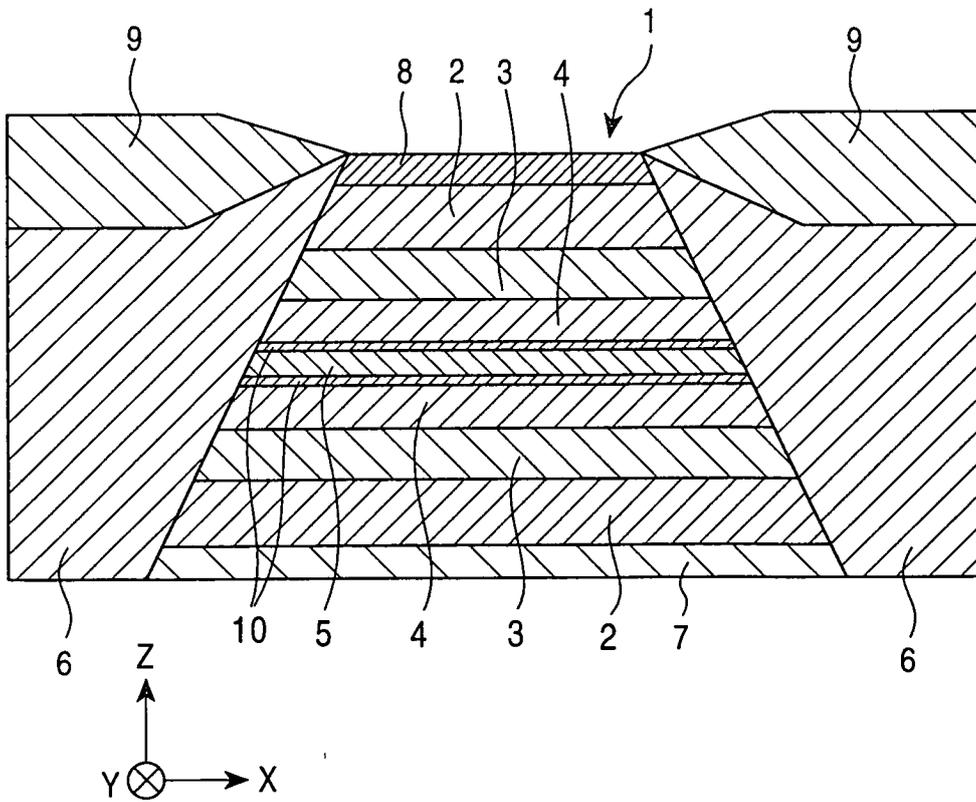


FIG. 7

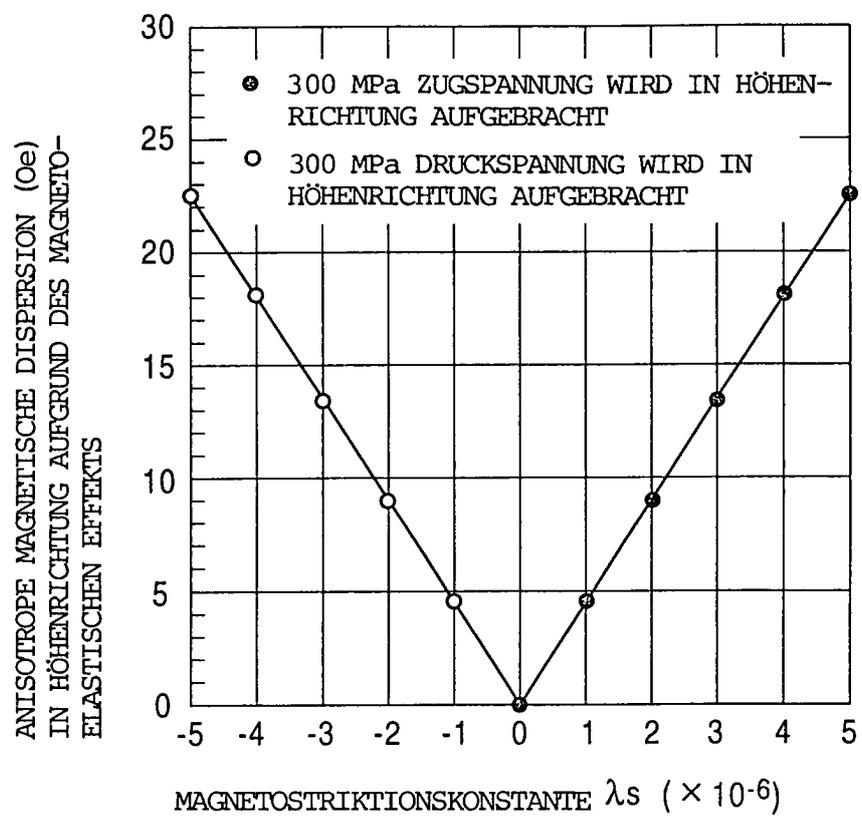
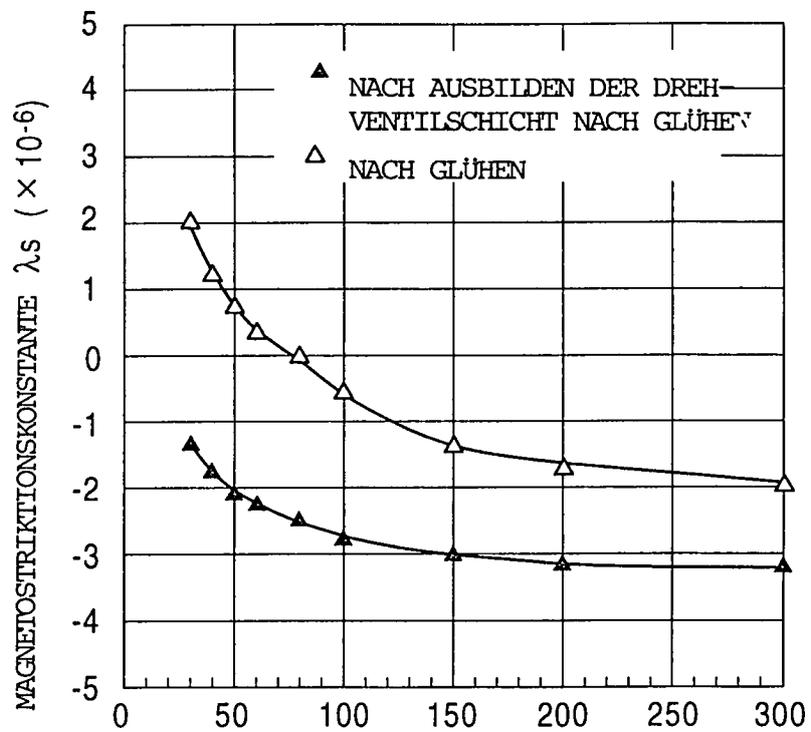


FIG. 8



SICKE DER NiFe-SCHICHT (\AA)
(Ni-Anteil: 83 %, Oben-PtMn-KONFIGURATION)

FIG. 9

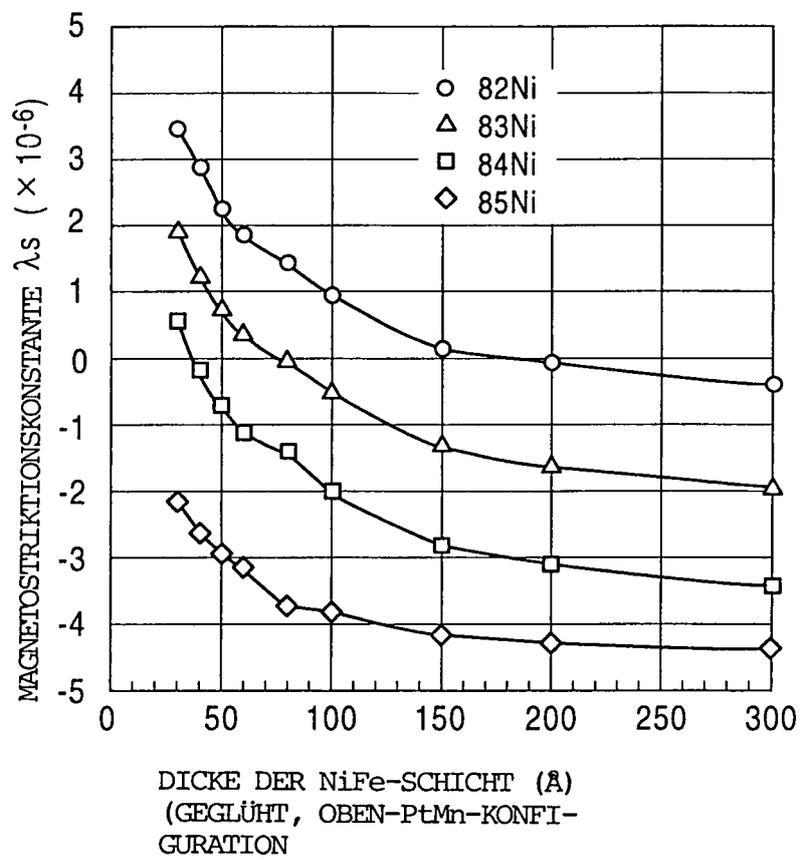


FIG. 10

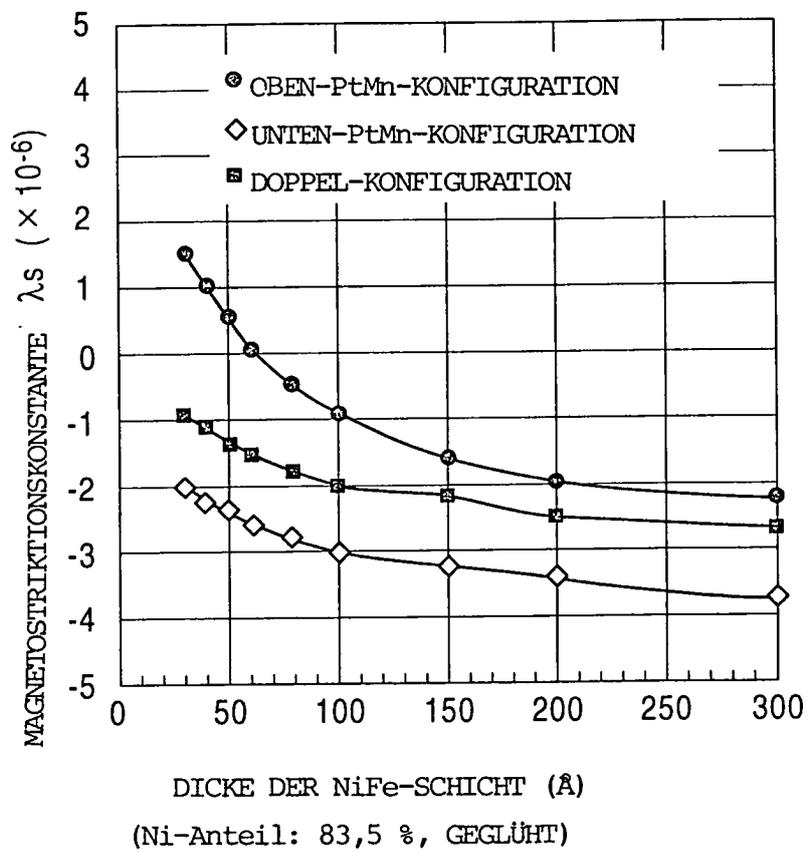


FIG. 11

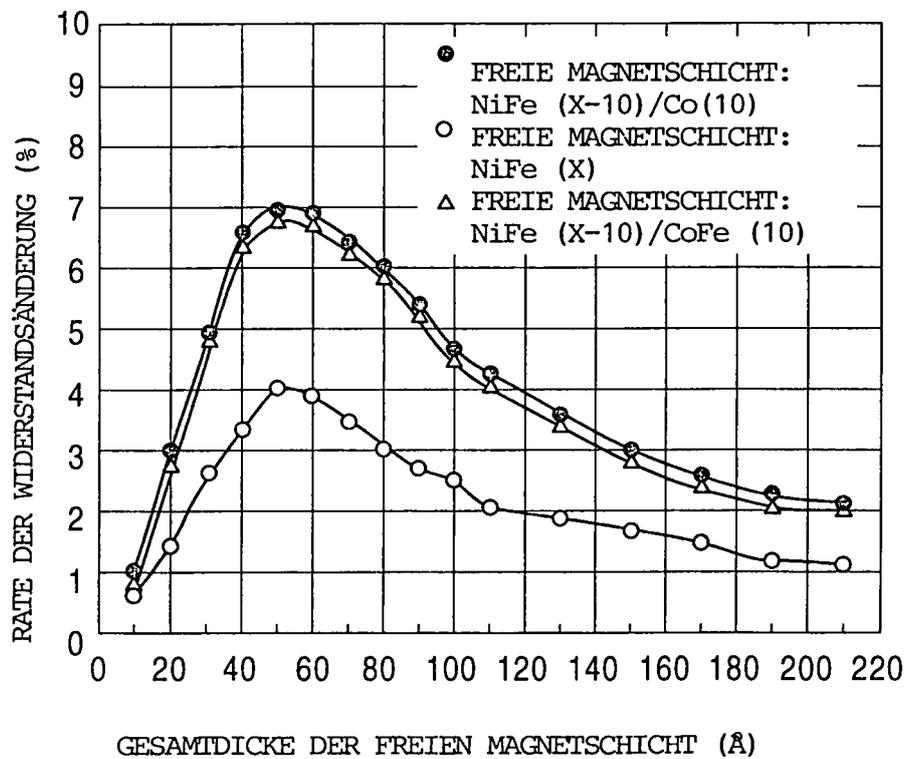


FIG. 12

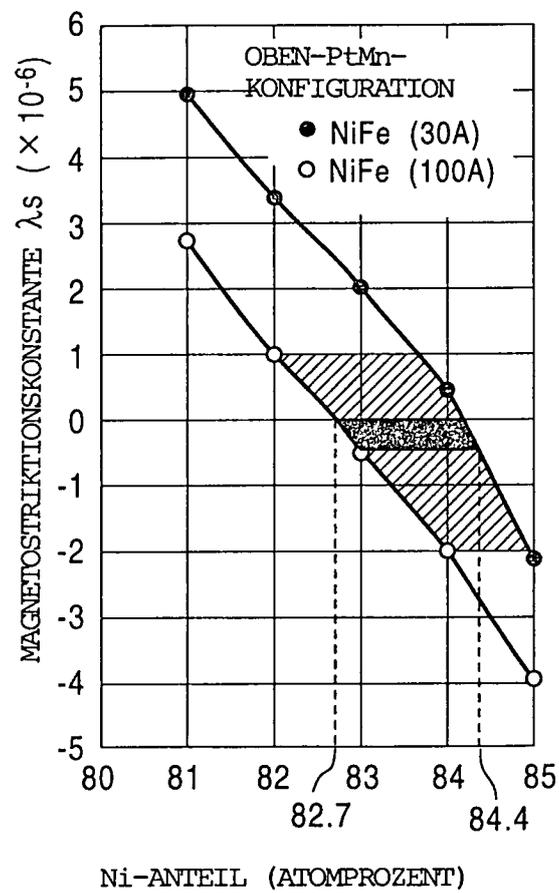


FIG. 13

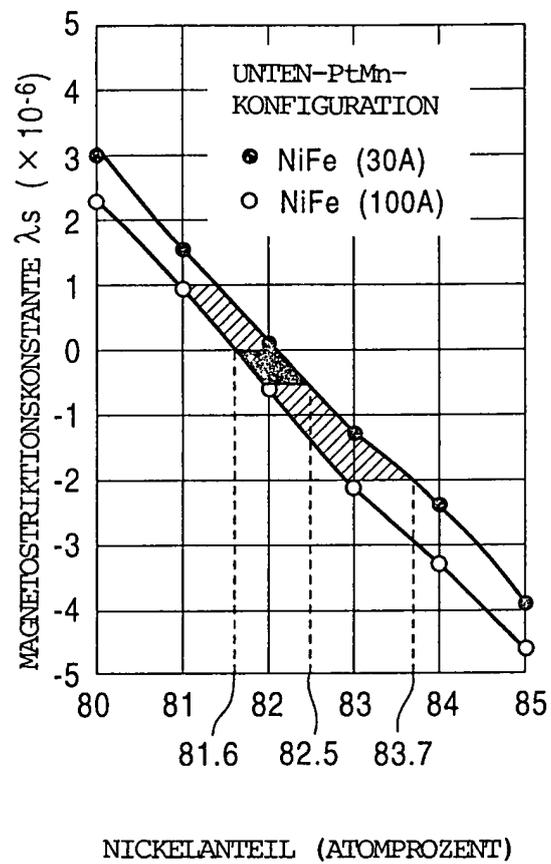


FIG. 14

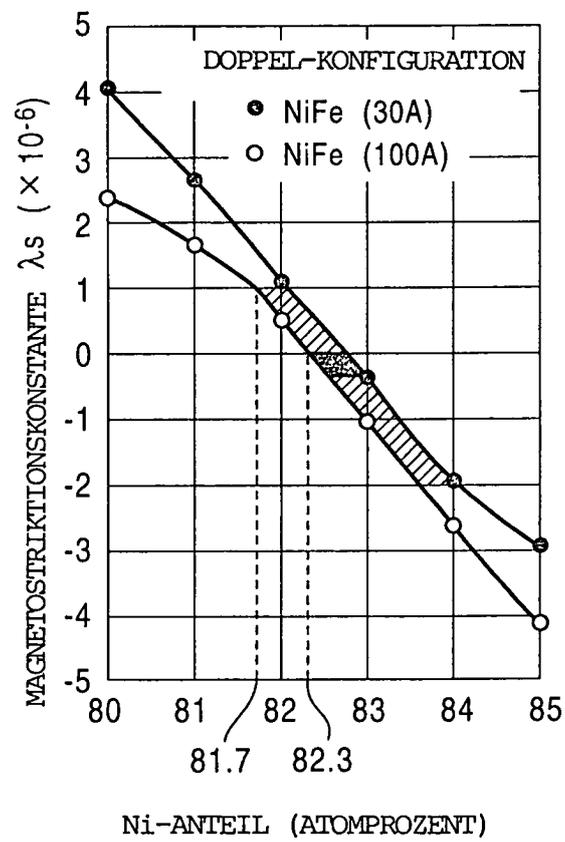


FIG. 15

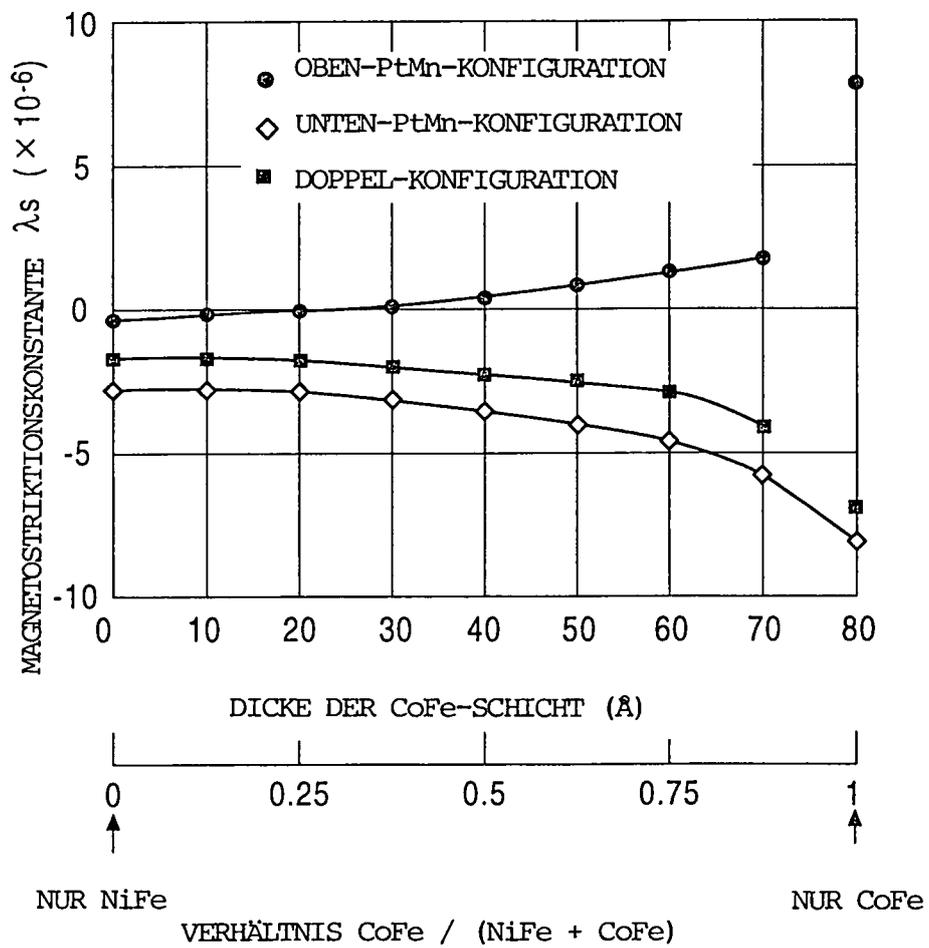


FIG. 16

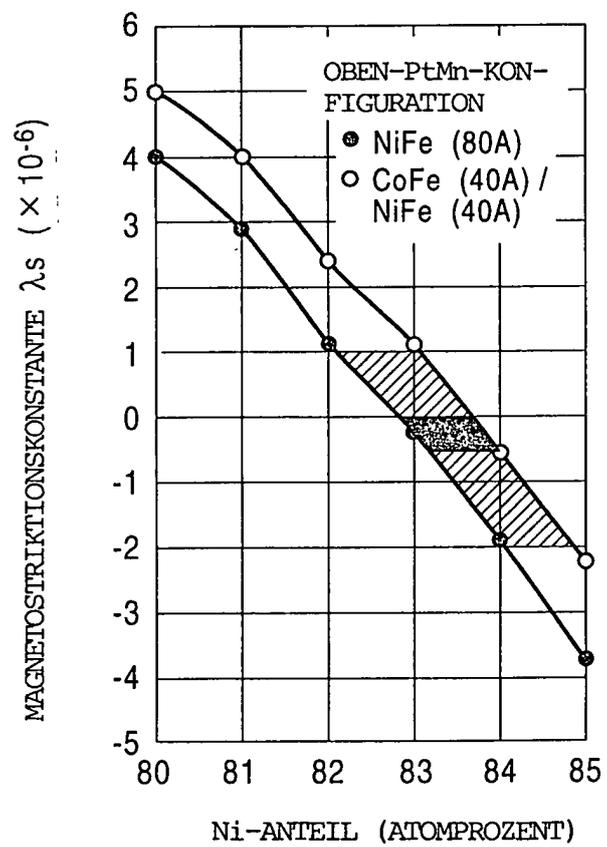


FIG. 17

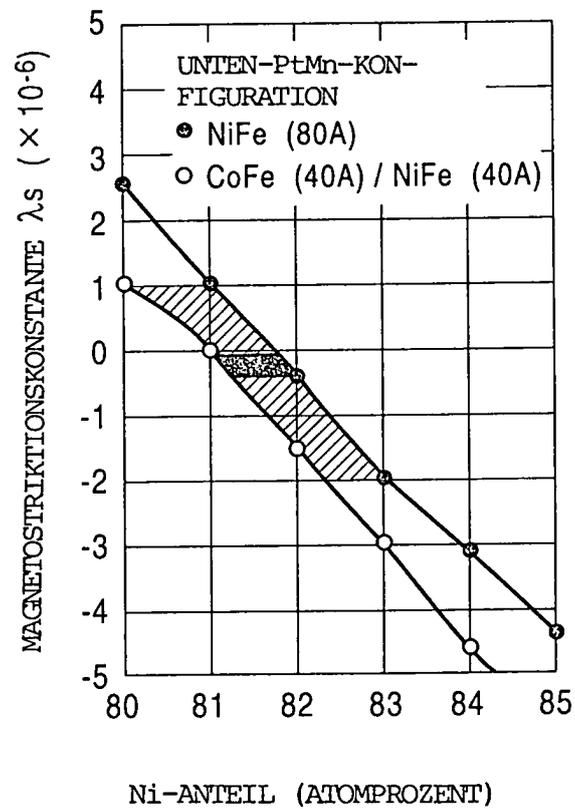


FIG. 18

