



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 195 28 245 B4** 2006.06.22

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **195 28 245.0**
(22) Anmeldetag: **01.08.1995**
(43) Offenlegungstag: **14.03.1996**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 43/08** (2006.01)
H01L 43/10 (2006.01)
H01F 10/16 (2006.01)
G01R 33/02 (2006.01)
G11B 5/39 (2006.01)
G01R 33/20 (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).

(30) Unionspriorität:
6-215893 09.09.1994 JP

(73) Patentinhaber:
Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:
**Mitscherlich & Partner, Patent- und
Rechtsanwälte, 80331 München**

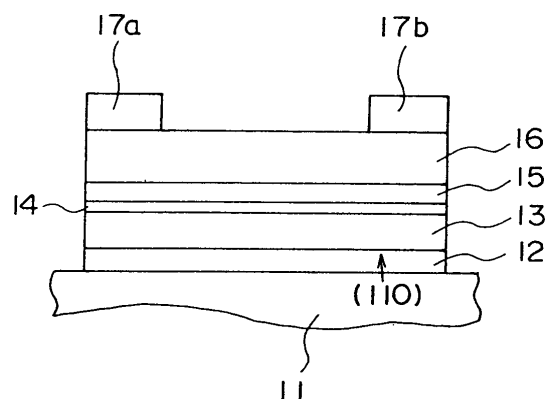
(72) Erfinder:
**Kitade, Yasuhiro, Kawasaki, Kanagawa, JP;
Kobayashi, Kazuo, Kawasaki, Kanagawa, JP;
Kikuchi, Hideyuki, Kawasaki, Kanagawa, JP;
Kishi, Hitoshi, Kawasaki, Kanagawa, JP; Otagiri,
Mitsuru, Kawasaki, Kanagawa, JP**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 43 12 040 A1
US 52 43 316 A
US 46 63 685 A
US 53 04 975
EP 05 06 433 A1
JIMBO, M., KANDA, T., et al.: Giant Magnetore-
sistance in FeNiCo/Cu Multilayers. JP-Z.: Jpn.J.
Appl.Phys., Vol. 31, 15 September 92,
L1348-L1350;
SAKAKIMA, H., SATOMI, M.: Low-Field Giant
Magneto-
resistance in [Ni-Fe-Co/Cu/Co/Cu] Superlattices.
JP-Z.: Jpn.J.Appl.Phys., Vol. 31, 15 April 1992,
L484-L486;
KITADE, Y., et al.: Giant Magnetoresistance Effect
in CoNiFe/Cu Spin Valves IEEE TRANSACTIONS
ON
MAGNETICS, Vol.31, No.6, Nov.1995, S.2600;

(54) Bezeichnung: **Magneto-Widerstandskopf und dessen Verwendung in einer Magnetaufzeichnungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Magneto-Widerstandskopf zum Erfassen eines Signal-Magnetfeldes (H_{sig}), umfassend eine erste ferromagnetische Schicht (13) aus einer ersten Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung mit 5-40 Atom-% Nickel und 30-95 Atom-% Kobalt, wobei sich die Magnetisierungsrichtung (M_a) der ersten ferromagnetischen Schicht (13) entsprechend der Stärke eines Signal-Magnetfeldes (H_{sig}) verändert;
eine nichtmagnetische Metallschicht (14) auf der ersten ferromagnetischen Schicht (13);
eine zweite ferromagnetische Schicht (15) aus einer zweiten Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung mit 5-40 Atom-% Nickel und 30-95 Atom-% Kobalt auf der nichtmagnetischen Metallschicht (14); und
eine antiferromagnetische Schicht (16), die die zweite ferromagnetische Schicht (15) auf der gesamten Oberfläche der zweiten ferromagnetischen Schicht (15) kontaktiert und die Magnetisierungsrichtung (M_b) der zweiten ferromagnetischen Schicht (15) durch eine Wechselwirkung auch bei Anlegen des Signal-Magnetfeldes (H_{sig}) an die zweite ferromagnetische Schicht (15) bestimmt,

wobei die Kristallstruktur der ersten und zweiten ferromagnetischen Schicht (23, 25) jeweils ein kubisch-flächenzentriertes Gitter ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Magneto-Widerstandskopf und insbesondere auf einen Magneto-Widerstandskopf mit einer Spin-Magneto-Widerstandsschicht zur Verwendung in einem Magnetensor, Magnetkopf o.ä.

Stand der Technik

[0002] Für einen derartigen Magnetsensor oder Magnetkopf war es bekannt, eine Magneto-Widerstandsschicht mit NiFe als magnetisches Material zu verwenden. Aufgrund des steigenden Bedürfnisses nach einer erhöhten Empfindlichkeit des Magnetsensor oder des Magnetkopfes wurde eine sog. GMR (Giant Magnetoresistance) -Schicht mit großem Interesse beobachtet, die Lesesignale mit einer großen Amplitude liefert. Da eine Spin-Magneto-Widerstandsschicht relativ leicht hergestellt werden kann und sie im Vergleich zu der bekannten Magneto-Widerstandsschicht eine erhöhte Änderungsrate des elektrischen Widerstands aufweist, wurde in letzter Zeit dieser Magneto-Widerstandsschichtart besonders große Aufmerksamkeit geschenkt.

[0003] Eine Vorrichtungen, die den Spin-Magneto-Widerstandseffekt ausnutzt, wird in der US 4,663,685 offenbart. Dieses Dokument zeigt einen Magneto-Widerstands-Umformer aufgebaut in mehreren Schichten, wobei eine Magneto-Widerstandsschicht zwischen einer antiferromagnetischen Schicht und einer Abstandsschicht mit großem elektrischem Widerstand liegt. An die Abstandsschicht grenzt andererseits eine weichmagnetische Schicht an, die in Querrichtung eine Vormagnetisierung erzeugt. Für die Magneto-Widerstandsschicht wird ein weichmagnetischer Werkstoff angestrebt mit niedriger Magnetostriktion und hohem Magneto-Widerstandskoeffizient. Weiterhin wird für diese Schicht eine Nickel-Eisen-Legierung vorgeschlagen. Für die Abstandsschicht werden Werkstoffe wie Ta, Al_2O_3 und SiO_2 vorgeschlagen. Als Werkstoff für die antiferromagnetische Schicht wird MnFe und für die weichmagnetische Schicht NiFeRh vorgeschlagen.

[0004] Weiterhin geht aus der US-A-5,206,590 eine ähnliche Vorrichtung hervor. Diese Vorrichtungen sind wie in **Fig. 7A** und **7B** beispielhaft gezeigt strukturiert.

[0005] Wie in **Fig. 7A** und **7B** gezeigt, sind bei Anlegen eines magnetischen Feldes bestimmter Größe mit Hilfe eines Bedampfungsverfahrens auf ein Siliziumsubstrat **1** eine Untergrundschicht **2**, eine erste magnetische Schicht **3**, eine nicht-magnetische Metallschicht **4**, eine zweite magnetische Schicht **5** und eine antiferromagnetische Schicht **6** in der angegebenen Reihenfolge aufgebracht. Sämtliche Schichten von der Untergrundschicht **2** bis zu der antiferro-

magnetischen Schicht **6** sind derart ausgestaltet, daß sie rechteckförmig und eben sind. Zusätzlich ist ein Paar von Leiteranschlüssen **7a** und **7b** auf der antiferromagnetischen Schicht **6** in deren Längsrichtung voneinander beabstandet aufgebracht.

[0006] Als Materialien für diese Schichten kommen beispielsweise Tantal (Ta) für die Untergrundschicht **2**, Eisen-Nickel (NiFe) für die erste und zweite magnetische Schicht **3**, **5**, Kupfer (Cu) für die nichtmagnetische Metallschicht **4** und Eisen-Mangan (FeMn) für die antiferromagnetische Schicht **6** infrage.

[0007] Dadurch wird der Spin-Magneto-Widerstandskopf vollständig gebildet.

[0008] Die erste magnetische Schicht **3** weist eine rechteckförmige Magnetisierung M_a in Längsrichtung auf. Die zweite magnetische Schicht **5** kann durch Kopplung mit der antiferromagnetischen Schicht **6** magnetisiert werden. Eine Magnetisierungsrichtung M_b entspricht einer Querrichtung der rechteckförmigen Schichten. Ein von einem Magnetaufzeichnungsmedium abgeleitetes Signal-Magnetfeld H_{sig} wird in Querrichtung dieser Schichten erzeugt.

[0009] Wird das Signal-Magnetfeld H_{sig} an den Magneto-Widerstandswandler angelegt, so wird die Magnetisierungsrichtung M_a der ersten magnetischen Schicht **3** gemäß der Stärke und Richtung des Signal-Magnetfeldes H_{sig} verändert, d.h. geneigt.

[0010] Diejenige Komponente der Magnetisierung M_a der ersten magnetischen Schicht **3**, die entgegengesetzt zu der Magnetisierung M_b der zweiten magnetischen Schicht **5** verläuft, dient als Primärfaktor zur Streuung der diese Schichten durchlaufenden Elektronen, und somit zur Erhöhung des elektrischen Widerstandes aller Schichten. Da andererseits eine Komponente der Magnetisierung M_a der ersten magnetischen Schicht **3**, die in dieselben Richtung wie die Magnetisierung M_b der zweiten magnetischen Schicht **5** verläuft, keine Streuung der diese Schichten durchlaufenden Elektronen hervorruft, wird der elektrische Widerstand aller Schichten verringert.

[0011] Der elektrische Widerstand in stromempfindlichen Bereichen wird proportional zu dem Kosinuswert eines Relativwinkels θ zwischen der Magnetisierung M_a der ersten magnetischen Schicht **3** und der Magnetisierung M_b der zweiten magnetischen Schicht **5**, d.h. gemäß $\cos \theta$ verändert.

[0012] Um den elektrischen Widerstand linear gegenüber dem von dem magnetischen Aufzeichnungsmedium abgeleiteten Signal-Magnetfeld H_{sig} zu verändern, wird die Magnetisierung M_a der ersten magnetischen Schicht **3** senkrecht mit der Magnetisierung M_b der zweiten magnetischen Schicht **5** während des Anliegens eines Null-Signal-Magnetfeldes

überlagert. Das Signal-Magnetfeld H_{sig} muß entweder parallel oder entgegengesetzt zu der Magnetisierungsrichtung der zweiten magnetischen Schicht **5**, d.h. der festgelegten Magnetisierungsrichtung angelegt werden.

[0013] Wird das von einem Magnetaufzeichnungsmedium abgeleitete Signal-Magnetfeld H_{sig} in ein elektrisches Signal umgewandelt, kann aufgrund des Signal-Magnetfelds H_{sig} eine elektrische Widerstandsänderung in eine Spannungsänderung umgewandelt werden, indem ein elektrischer Konstantstrom zwischen den beiden Leiteranschlüssen **7a**, **7b** fließt. Die Änderung der Spannung wird als elektrisches Wiederherstellungssignal ausgenutzt.

[0014] Bei der Vorrichtung mit NiFe als Material für die magnetische Schicht, in der der Spin-Magneto-Widerstandseffekt hervorgerufen wird, beträgt die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes durch das Signal-Magnetfeld lediglich 2,5%. Daher ist diese Vorrichtung für hochempfindliche Magnetsensoren oder Magnetköpfe nicht ausreichend.

[0015] Aus der DE 43 12 040 A1 ist ein magnetisches Aufzeichnungssystem mit hoher Aufzeichnungsdichte und ein magnetoresistives, magnetisches Speicher-/Lesesystem mit hoher Empfindlichkeit bekannt. Darin ist ein magnetoresistives Element vom Mehrschichttyp beschrieben, in dem Magnetisierungen der magnetischen Filme in Richtungen induziert werden, die parallel bzw. senkrecht zu einer gegenüber befindlichen Ebene eines Aufzeichnungsmediums orientiert sind, wobei zwei oder mehr ferromagnetische Filme durch einen nichtmagnetischen, leitenden Film voneinander getrennt sind und wobei antiferromagnetische Filme, insbesondere Nickeloxid-Filme auf dem oberen bzw. unter dem unteren ferromagnetischen Film aufgetragen sind. Dadurch kann ein magnetisches Speicher-/Lesesystem erhalten werden, das eine hohe Aufzeichnungsdichte besitzt. Ferner wird ein magnetoresistiver Lesekopf erhalten, der eine hohe Empfindlichkeit besitzt.

Aufgabenstellung

[0016] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Magneto-Widerstandskopf mit einer größeren Änderungsrate des elektrischen Widerstandes gegenüber dem Signal-Magnetfeld zu schaffen.

[0017] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0018] Gemäß der Erfindung ist zumindest eine ferromagnetische Schicht, die eine antiferromagnetische Schicht kontaktiert, aus einer Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung hergestellt, wobei die Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung 5-40 Atom-% Nickel und 30-95

Atom-% Kobalt aufweist.

[0019] Dadurch kann im Vergleich zu dem bekannten Magneto-Widerstandskopf die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes durch den Spin-Magneto-Widerstandseffekt vergrößert werden. Wird in diesem Fall auch diejenige ferromagnetische Schicht, die nicht mit der antiferromagnetischen Schicht in Kontakt steht, aus einer Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung hergestellt, so kann die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes weiter vergrößert werden. Der Grund dafür ist die gegenüber einer Eisen-Nickel-Legierung vergrößerte Änderungsrate des elektrischen Widerstandes der Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung.

[0020] Wird des weiteren eine Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung mit einer Null-Magnetostriktion eingesetzt, so kann vermieden werden, daß die gegenseitige Beeinflussung mit der antiferromagnetischen Schicht nachteilig beeinflusst wird.

[0021] Des weiteren wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, für die erste und zweite ferromagnetische Schicht Kobalt-Nickel-Eisen-Legierungen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen zu verwenden, wobei die nicht-magnetische Metallschicht zwischen diesen beiden ferromagnetischen Schichten angeordnet wird.

[0022] Dadurch wird die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes aufgrund des Spin-Magneto-Widerstandseffekts gegenüber dem bekannten Magneto-Widerstandskopf größer. Des weiteren kann die Zusammensetzung der zweiten ferromagnetischen Schicht, die eine leichte Drehung des magnetischen Feldes aufgrund des Signal-Magnetfeldes ermöglicht, als Material dienen, das die erste ferromagnetische Schicht bildet, die nicht in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht steht, so daß korrekte Lesevorgänge durchgeführt werden können.

[0023] In diesem Fall ist es vorteilhaft, daß die Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung, die die erste ferromagnetische Schicht bildet, 40-50 Atom-% Kobalt und 24-35 Atom-% Nickel aufweist, und daß die Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung, die die zweite ferromagnetische Schicht bildet, 80-90 Atom-% Kobalt und höchstens 20 Atom-% Nickel aufweist.

[0024] Zudem kann die Magnetisierungsrichtung einfach durch das Signal-Magnetfeld gedreht werden, da die Koerzitivkraft der ersten ferromagnetischen Schicht so gewählt wird, daß sie höchstens 795,775 A/m (10 Oe) beträgt. Ist zudem zumindest die Kristallstruktur der zweiten ferromagnetischen Schicht als kubisch-flächenzentriertes Gitter ausgestaltet, kann die zweite ferromagnetische Schicht kontaktierende antiferromagnetische Schicht auf einfache Weise ausgebildet werden.

[0025] Da weiterhin die Koerzitivkraft der ersten ferromagnetischen Schicht so gewählt wird, daß sie maximal 795,775 A/m (10 Oe) beträgt, kann die Magnetisierungsrichtung der ersten ferromagnetischen Schicht einfach durch das Signal-Magnetfeld gedreht werden.

[0026] Es zeigen:

[0027] [Fig. 1](#) einen Magneto-Widerstandskopf gemäß einem ersten Beispiel in einer Seitenansicht,

[0028] [Fig. 2](#) ein charakteristisches Diagramm, das die Beziehung zwischen der Elektronenanzahl und der Änderungsrate des elektrischen Widerstandes darstellt, für den Fall, daß Kupfer als nichtmagnetische Metallschicht und Nickel-Eisen oder Nickel-Kobalt als magnetische Dünnschicht verwendet werden und 30 nichtmagnetische Metallschichten und 30 magnetische Dünnschichten übereinander angeordnet sind,

[0029] [Fig. 3](#) den Zusammenhang zwischen der Kobalt-Nickel-Eisen-Zusammensetzung und der Magnetostriktion,

[0030] [Fig. 4A](#) einen Magneto-Widerstandskopf gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer Seitenansicht,

[0031] [Fig. 4B](#) den Zusammenhang zwischen der Kobalt-Nickel-Eisen-Zusammensetzung der Magnetostriktion und der Koerzitivkraft,

[0032] [Fig. 5](#) den Zusammenhang zwischen der Kobalt-Nickel-Eisen-Zusammensetzung und der Koerzitivkraft,

[0033] [Fig. 6A](#) eine bekannte Magnetaufzeichnungsvorrichtung, bei der die Magneto-Widerstands-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung eingesetzt ist, in Seitenansicht,

[0034] [Fig. 6B](#) eine Zwischenspalt-Magnetaufzeichnungsvorrichtung mit einer Magnetfluß-Führung, bei der die Magneto-Widerstands-Vorrichtung der vorliegenden Erfindung eingesetzt ist, in Seitenansicht,

[0035] [Fig. 6C](#) eine Joch-Magnetaufzeichnungsvorrichtung in Seitenansicht, bei der die Magneto-Widerstands-Vorrichtung der vorliegenden Erfindung eingesetzt ist, und

[0036] [Fig. 7A](#) eine Seitenansicht eines bekannten Spin-Magneto-Widerstandskopfes,

[0037] [Fig. 7B](#) den in [Fig. 1A](#) dargestellten bekannten Spin-Magneto-Widerstandskopf in perspektivischer Teilschnittansicht.

[0038] Durch die nachfolgende Beschreibung wird die vorliegende Erfindung näher erläutert.

[0039] [Fig. 1](#) zeigt in Seitenansicht eine Vielschichtstruktur eines Spin-Magneto-Widerstandskopfes gemäß einem ersten Beispiel.

[0040] Bei Anlegen eines magnetischen Feldes der Stärke 2.387,325 A/m (30 Oe) wird, gemäß der in [Fig. 1](#) gezeigten Reihenfolge, durch ein Verdampfungsverfahren auf eine (110)-Fläche eines Siliziumsubstrates **11** als eine Untergrundschicht **12** Tantal (Ta) mit einer Dicke von 6 nm (60Å), als eine erste ferromagnetische Schicht **13** Eisen-Nickel (NiFe) mit einer Dicke von 9 nm (90Å), als eine nichtmagnetische Metallschicht **14** Kupfer (Cu) mit einer Dicke von 2 nm (20Å), als eine zweite ferromagnetische Schicht **15** Nickel-Eisen-Kobalt (CoNiFe) mit einer Dicke von 4 nm (40Å) und als eine antiferromagnetische Schicht **16** Eisen-Mangan (FeMn) mit einer Dicke von 12 nm (12Å) ausgebildet.

[0041] Die erste ferromagnetische CoNiFe-Schicht **13** ist beispielsweise aus einer Legierung mit 10 Atom-% Nickel, 25 Atom-% Eisen und 65 Atom-% Kobalt gefertigt. Diese Legierung wird nachfolgend als $\text{Co}_{65}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_{25}$ bezeichnet.

[0042] Die Schichten von der Untergrundschicht **12** bis zu der antiferromagnetischen Schicht **16** sind als ebene rechteckförmige Schichten ausgebildet. Zudem ist ein Paar Leiteranschlüsse **17a**, **17b** auf die antiferromagnetische Schicht **16** in deren Längsrichtung von einander beabstandet ausgeformt.

[0043] Liegt kein externes Magnetfeld an, so entspricht die Magnetisierungsrichtung der ersten ferromagnetischen Schicht **13** deren Längsrichtung. Die Magnetisierungsrichtung der ersten ferromagnetischen Schicht **13** wird orthogonal von der Magnetisierung der zweiten ferromagnetischen Schicht **15** überlagert.

[0044] Gemäß dem zuvor beschriebenen Spin-Magneto-Widerstandskopf kann die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes gegenüber dem bekannten Magneto-Widerstandskopf auf ca.4% erhöht werden.

[0045] Nachfolgend werden die Gründe dafür angegeben, warum die erhöhte Änderungsrate des elektrischen Widerstandes durch die Ausbildung der zweiten ferromagnetischen Schicht **15**, die die antiferromagnetische Schicht **16** kontaktiert, als $\text{Co}_{65}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_{25}$ -Legierung folgt.

[0046] [Fig. 2](#) zeigt die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes (elektrische Widerstandsfähigkeit) $\Delta\rho/\rho_0$ eines Probestücks, welches 30 nichtmagnetische Metallschichten aus Cu aufweist, die ab-

wechselnd mit 30 magnetischen Dünnschichten aus NiFe übereinander gelagert sind. Des weiteren zeigt [Fig. 2](#) eine Änderungsrate des elektrischen Widerstandes (elektrische Widerstandsfähigkeit) $\Delta\rho/\rho_0$ eines zweiten Probestücks, das 30 nichtmagnetische Metallschichten aus Cu aufweist, die abwechselnd mit 30 magnetischen Dünnschichten aus NiCo übereinander gelagert sind. [Fig. 2](#) ist auf dem folgenden Artikel [1] gestützt:

[1] M. Sato, S. Ishio and T. Miyazaki: J. Magn. Mater. 126 (1993) 462.

[0047] Wie aus [Fig. 2](#) ersichtlich, beträgt die Änderungsrate der elektrischen Widerstandsfähigkeit maximal 15%, wenn als ferromagnetische Schicht NiFe verwendet wird. Wird jedoch NiCo, d.h. ein magnetisches Material des Kobaltsystems, als Material der ferromagnetischen Schicht verwendet, kann die Änderungsrate der elektrischen Widerstandsfähigkeit erhöht werden, da die Anzahl der Elektronen in der Legierung nahezu der Elektronenanzahl von Kobalt selbst, d.h. 27, entspricht. In diesem Fall beträgt die Änderungsrate maximal ca. 15%.

[0048] Im folgenden Aufsatz [2] wurde die Größenordnung der Magnetostriktion beschrieben, die durch unterschiedliche Zusammensetzungsverhältnisse von CoNiFe in einer dünnen Schicht durch sehr schnelles Abkühlen hervorgerufen wird. [Fig. 3](#) zeigt den entsprechenden Sachverhalt, wobei λ_s die Sättigungs-Magnetostriktion bezeichnet.

[2] T. Ohmori, S. Ishio and T. Miyazaki: 17 th Japanese Society for Applied Magnetism, Summary (1993) 20.

[0049] Soll die magnetische Kopplung mit der antiferromagnetischen Schicht **16** berücksichtigt werden, so ist als Material für die zweite ferromagnetische Schicht **15**, die mit der antiferromagnetischen Schicht **16** verbunden ist, ein Material mit geringer Koerzitivkraft (H_C) wünschenswert. Um die Koerzitivkraft zu verringern, wird die Magnetostriktion auf Null reduziert. [Fig. 2](#) zeigt zwei mit (i) und (ii) bezeichnete Verbundsysteme in der CoNiFe-Legierung, die eine Null-Magnetostriktion aufweisen.

[0050] Wird das in [Fig. 2](#) gezeigte Zusammensetzungsverhältnis für eine große Änderungsrate der elektrischen Widerstandsfähigkeit berücksichtigt, so weist das mit (ii) bezeichnete Verbundsystem einen größeren Kobaltanteil und eine größere Änderungsrate der elektrischen Widerstandsfähigkeit als das mit (i) bezeichnete und in [Fig. 3](#) dargestellte Verbundsystem auf. Beide mit (i) und (ii) bezeichnete Verbundsysteme besitzen eine Kristallstruktur eines kubisch-flächenzentrierten Gitters.

[0051] Demzufolge kann die Magnetostriktion auf Null oder sehr nahe an Null verringert werden und eine hohe Änderungsrate der elektrischen Wider-

standsfähigkeit kann erhalten werden, wenn als Material für die zweite ferromagnetische Schicht **15** eine CoNiFe-Legierung mit 30-95 Atom-% Kobalt und 5-40 Atom-% Nickel gewählt wird. Ein Beispiel für eine derartige CoNiFe-Legierung ist $\text{Co}_{65}\text{Ni}_{10}\text{Fe}_{25}$.

[0052] Es sei darauf hingewiesen, daß nicht nur die zweite mit der antiferromagnetischen Schicht **16** verbundene ferromagnetische Schicht **15**, sondern auch die erste ferromagnetische Schicht **13** durch eine derartige CoNiFe-Legierung mit 30-95 Atom-% Kobalt und 5-40 Atom-% Nickel gebildet sein kann. Verglichen mit dem Fall, bei dem nur die zweite ferromagnetische Schicht **15** durch die CoNiFe-Legierung gebildet ist, kann dadurch eine nochmals erhöhte Änderungsrate der elektrischen Widerstandsfähigkeit erhalten werden.

[0053] [Fig. 4A](#) zeigt eine Vielschichtstruktur eines Spin-Magneto-Widerstandskopfes gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung in Seitenansicht.

[0054] Mit Hilfe eines Bedampfungsverfahrens sind bei Anliegen eines Magnetfeldes mit ca. 2.387,325 A/m (30 Oe) auf eine (**110**)-Fläche eines Siliziumsubstrates **21** in der in [Fig. 4A](#) angegebenen Reihenfolge als eine Untergrundschicht **22** Tantal (Ta) mit einer Dicke von 6 nm (60Å), als eine erste ferromagnetische Schicht **23** Nickel-Eisen-Kobalt (CoNiFe) mit einer Dicke von 9 nm (90Å), als eine nichtmagnetische Metallschicht **24** Kupfer (Cu) mit einer Dicke von 2,2 nm (22Å), als eine zweite ferromagnetische Schicht **25** Nickel-Eisen-Kobalt (CoNiFe) mit einer Dicke von 4 nm (40Å) und als eine antiferromagnetische Schicht **26** Eisen-Mangan (FeMn) mit einer Dicke von 12 nm (120Å) ausgebildet.

[0055] Die die erste ferromagnetische Schicht **23** bildende CoNiFe-Legierung umfaßt beispielsweise 26 Atom-% Nickel, 32 Atom-% Eisen und 42 Atom-% Kobalt. Diese Legierung wird nachfolgend als $\text{Co}_{42}\text{Ni}_{26}\text{Fe}_{32}$ bezeichnet. Die die zweite ferromagnetische Schicht **25** bildende CoNiFe-Legierung ist beispielsweise aus 3 Atom-% Nickel, 7 Atom-% Eisen und 90 Atom-% Kobalt gefertigt. Diese Legierung wird nachfolgend als $\text{Co}_{90}\text{Ni}_3\text{Fe}_7$ bezeichnet.

[0056] Alle Schichten von der Untergrundschicht **22** bis zu der antiferromagnetischen Schicht **26** sind eben und rechteckförmig ausgestaltet. Zudem ist auf der antiferromagnetischen Schicht **26** ein Paar Leiteranschlüsse **27a**, **27b** angeordnet, die in Längsrichtung der Schicht **26** voneinander beabstandet sind.

[0057] Liegt kein externes Magnetfeld an, so verläuft die Magnetisierung der ersten ferromagnetischen Schicht **23** entlang deren Längsrichtung. Die Magnetisierungsrichtung der ersten ferromagnetischen Schicht **23** wird orthogonal von der Magneti-

sierung der zweiten ferromagnetischen Schicht **25** überlagert.

[0058] Mit dem zuvor beschriebenen Spin-Magneto-Widerstandskopf kann eine Änderungsrate des elektrischen Widerstands von ca. 8% erreicht werden, die ungefähr $3\times$ so groß wie die des bekannten Magneto-Widerstandskopfes ist.

[0059] Nachfolgend werden die Gründe dafür angeführt, warum die erste ferromagnetische Schicht **23** und die zweite ferromagnetische Schicht **25** unterschiedliche CoNiFe-Zusammensetzungsverhältnisse aufweisen.

[0060] Da die Magnetisierungsrichtung der ersten ferromagnetischen Schicht **23** leicht durch das von einem Magnet-Aufzeichnungsmedium erzeugte Signal-Magnetfeld gedreht werden können muß, wird eine erste ferromagnetische Schicht **23** benötigt, die aus einem weichmagnetischen Material mit einer geringen Koerzitivkraft gefertigt ist. Die Magnetisierungsrichtung der zweiten ferromagnetischen Schicht **25** ist jedoch durch die gegenseitige Beeinflussung mit der antiferromagnetischen Schicht **26** festgelegt. Daher ist eine Einschränkung bezüglich der Koerzitivkraft, wie sie für die erste ferromagnetische Schicht **23** getroffen werden muß, für die zweite ferromagnetische Schicht **25** nicht so erforderlich.

[0061] Um die Koerzitivkraft der die erste ferromagnetische Schicht **23** bildenden CoNiFe-Legierung zu verringern, ist es wünschenswert, eine Null-Magnetostriktion zu erhalten. Um zudem die Änderungsrate des elektrischen Widerstands in der ersten ferromagnetischen Schicht **23** zu erhöhen, ist es auf Grundlage von [Fig. 2](#) wünschenswert, die erste ferromagnetische Schicht **23** aus einem Material zu fertigen, welches Kobalt beinhaltet. Daher kann als Material für die erste ferromagnetische Schicht **23** eine CoNiFe-Zusammensetzung auf der Linie des Zusammensetzungsverhältnisses des mit (ii) bezeichneten und in [Fig. 3](#) gezeigten Verbundsystems gewählt werden, welches bereits bezüglich des ersten Ausführungsbeispiels beschrieben worden ist, entspricht. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, daß mit der Magnetostriktion auch die Koerzitivkraft abnimmt.

[0062] Daher haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung die Koerzitivkraft H_c von CoNiFe-Legierungen untersucht, die das Zusammensetzungsverhältnis (ii)-Verbundsystems bzw. ein Zusammensetzungsverhältnis des nahe des (ii)-Verbundsystems aufweisen. Die Ergebnisse sind in [Fig. 4B](#) dargestellt.

[0063] In [Fig. 4B](#) zeigt die gestrichelte Linie das Zusammensetzungsverhältnis des (ii)-Verbundsystems, während die strichpunktierte Linie das Zusammensetzungsverhältnis für eine Legierung mit gerin-

ger Koerzitivkraft angibt. Auch wenn der Unterschied der beiden Linien nur gering ist, fallen die Linien doch nicht zusammen. Dieser Unterschied wird jedoch durch unterschiedliche Herstellungsverfahren hervorgerufen. Die gestrichelte Linie des (ii)-Verbundsystems bezieht sich dagegen auf eine Schicht, die aus einer dünnen Schicht durch sehr schnelles Abkühlen hervorgegangen ist. Die strichpunktierte Linie der geringen Koerzitivkraft H_c bezieht sich auf eine CoNiFe-Legierung, die durch ein Bedampfungsverfahren hergestellt worden ist. Da gewöhnlich die den Magneto-Widerstandskopf bildende Schicht durch das Bedampfungsverfahren hergestellt wird, muß die Koerzitivkraft, die mit Hilfe des Bedampfungsverfahrens erhalten wird, berücksichtigt werden.

[0064] Dabei ist wünschenswert, daß die Koerzitivkraft H_{c1} des die erste ferromagnetische Schicht **23** bildenden weichmagnetischen Materials kleiner als 10 ist ($H_{c1} < 10$).

[0065] Eine CoNiFe-Zusammensetzung mit einer Koerzitivkraft $H_c < 10$ umfaßt – gemäß dem Experiment – 40-50 Atom-% Kobalt und 24-35 Atom-% Nickel. Ein Beispiel für eine derartige Zusammensetzung ist $\text{Co}_{42}\text{Ni}_{26}\text{Fe}_{32}$.

[0066] Wie zuvor beschrieben, muß jedoch andererseits das Erfordernis der Koerzitivkraft der die zweite ferromagnetische Schicht **25** bildenden CoNiFe-Legierung nicht so restriktiv wie bei der ersten ferromagnetischen Schicht **23** gehandhabt werden. Wird jedoch das durch die antiferromagnetische Schicht **26** hervorgerufene anisotrope magnetische Feld H_{UA} kleiner als die Koerzitivkraft H_{c2} in der zweiten ferromagnetischen Schicht **25**, so kann die Magnetisierungsrichtung der zweiten ferromagnetischen Schicht **25** leicht durch ein externes Magnetfeld umgekehrt werden. Kommt es zu einer derartigen Umkehrung, so kann kein Spin-Magneto-Widerstandseffekt erhalten werden. Das anisotrope Magnetfeld H_{UA} wird als ein Magnetfeld definiert, welches ein Zentrum einer magnetischen Hysteresekurve (B-H-Kurve), die den Zusammenhang zwischen der Koerzitivkraft und der magnetischen Flußdichte darstellt, entlang der magnetischen Achse verschiebt.

[0067] Daher ist die folgende durch Formel (1) beschriebene Beziehung zwischen der Koerzitivkraft H_{c2} der zweiten ferromagnetischen Schicht **25** und dem durch die antiferromagnetische Schicht **26** erzeugten anisotropen magnetischen Feld H_{UA} erforderlich, wobei jedoch $H_{c2} > 0$ gilt.

$$H_{c2} < H_{UA} \quad (1)$$

[0068] Wird ein derartiges Material für die zweite ferromagnetische Schicht **25** ausgewählt, so muß nicht nur ein Material ausgewählt werden, das die gewünschte anisotrope Magnetfeldstärke H_{UA} aufweist,

sondern die ferromagnetische Schicht **25** muß auch ein kubisch-flächenzentriertes Gitter sein. Wäre dies nicht der Fall, so würde FeMn nicht ein antiferromagnetisches Material werden.

[0069] Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen kann eine CoNiFe-Legierung als Material der zweiten ferromagnetischen Schicht **25** gewählt werden, die 0-20 Atom-% Nickel, 80-90 Atom-% Kobalt und die verbleibenden Atom-% Eisen aufweist. Ein Beispiel hierfür ist die zuvor beschriebene $\text{Co}_{90}\text{Ni}_3\text{Fe}_7$ -Legierung. Ist Nickel in der Legierung nicht vorhanden, d.h. sind 0 Atom-% Nickel vorhanden, so muß die zweite ferromagnetische Schicht **25** durch eine Kobalt-Eisen-Legierung gebildet sein.

[0070] Es sei darauf hingewiesen, daß – selbst wenn bei dem ersten bis zweiten Ausführungsbeispiel jeweils ein Magneto-Widerstandskopf mit nur einem Satz der jeweiligen Schichten beschreiben ist – auch eine Vielschichtstruktur mit mehreren dieser Schichten verwendet werden kann.

[0071] Wie zuvor beschrieben, kann erfindungsgemäß eine erhöhte Änderungsrate des elektrischen Widerstands gegenüber dem bekannten Magneto-Widerstandskopf aufgrund des Spin-Magneto-Widerstandseffekts erhalten werden, da zumindest die mit der antiferromagnetischen Schicht in Kontakt stehende ferromagnetische Schicht aus einer Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung gebildet ist und die Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung 5-40 Atom-% Nickel und 30-45 Atom-% Kobalt beinhaltet. Die Änderungsrate des elektrischen Widerstands kann weiterhin erhöht werden, falls auch die nicht mit der antiferromagnetischen Schicht in Kontakt stehende ferromagnetische Schicht aus einer Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung gefertigt wird.

[0072] Wird eine Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung mit einer Null-Magnetostriktion eingesetzt, so kann vermieden werden, daß die Wechselwirkung mit der antiferromagnetischen Schicht nachteilig beeinflusst wird. Da zudem bei dem Magneto-Widerstandskopf der Erfindung für die erste und zweite ferromagnetische Schicht, zwischen denen die nichtmagnetische Metallschicht angeordnet ist, Kobalt-Nickel-Eisen-Legierungen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen verwendet werden, wurde die Änderungsrate des elektrischen Widerstandes aufgrund des Spin-Magneto-Widerstandseffekts gegenüber dem bekannten Magneto-Widerstandskopf erhöht. Wird weiterhin als Material für die zweite ferromagnetische Schicht, die in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht steht, eine Zusammensetzung gewählt, die nicht eine leichte Drehung des Magnetfeldes durch ein externes Magnetfeld ermöglicht, und wird als Material für die erste ferromagnetische Schicht, die nicht die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, eine Zusammensetzung gewählt, die dagegen eine leicht-

te Drehung des Magnetfeldes durch das Signal-Magnetfeld ermöglicht, so ist ein einwandfreier Lesevorgang gewährleistet.

[0073] Diesbezüglich ist es vorteilhaft, daß die Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung der ersten ferromagnetischen Schicht 40-50 Atom-% Kobalt und 24-35 Atom-% Nickel beinhaltet, während die Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung der zweiten ferromagnetischen Schicht 80-90 Atom-% Kobalt und maximal 20 Atom-% Nickel beinhaltet.

[0074] Da zudem die Koerzitivkraft der ersten ferromagnetischen Schicht maximal 795,775 A/m (10 Oe) beträgt, kann die Magnetisierungsrichtung einfach durch das Signal-Magnetfeld gedreht werden. Ist zusätzlich zumindest die Kristallstruktur der zweiten ferromagnetischen Schicht als kubisch-flächenzentriertes Gitter ausgestaltet, so kann auch die zweite ferromagnetische Schicht kontaktierende antiferromagnetische Schicht einfach ausgebildet werden.

[0075] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf [Fig. 6A-Fig. 6C](#) eine erfindungsgemäße Magnetaufzeichnungsvorrichtung erläutert, in die die zuvor beschriebene erfindungsgemäße Magneto-Widerstandsvorrichtung eingesetzt ist. [Fig. 6A-Fig. 6C](#) sind Teilansichten, die jeweils einen Magnetkopf-Bereich der Magnetaufzeichnungsvorrichtung darstellen.

[0076] [Fig. 6A](#) zeigt einen zusammengesetzten Magneto-Widerstandskopf. Der Bereich A bezeichnet einen Wiedergabekopf und der Bereich B einen Aufzeichnungskopf. Eine weichmagnetische Schicht **102** wird gemeinsam als Magnetschild des Wiedergabekopfes und als magnetischer Pol des Aufzeichnungskopfes verwendet.

[0077] Wie in [Fig. 6A](#) dargestellt sind im Bereich des Wiedergabekopfes weichmagnetische Schichten **101** und **102** als Magnetschilder derart angeordnet, daß sie sich voneinander beabstandet gegenüberliegen. Die zuvor beschriebene Magneto-Widerstandsvorrichtung befindet sich in einem Spalt eines Abschnitts **105**, der einem Magnetaufzeichnungsmedium **106** gegenüberliegt. Ein von dem Magnetaufzeichnungsmedium **106** erzeugtes Leck-Magnetfeld kann direkt erfaßt werden.

[0078] In dem Bereich des Wiedergabekopfes sind weichmagnetische Schichten **102**, **104** als magnetische Pole voneinander beabstandet gegenüberliegend angeordnet. In einem Zwischenraum zwischen den weichmagnetischen Schichten **102**, **104** ist eine Spule **103** angeordnet, die einen magnetischen Fluß erzeugt, der die weichmagnetischen Schichten **102**, **104** durchsetzt. Durch die Erzeugung eines Leck-Magnetfeldes in diesem Zwischenraum des Bereiches **105** aufgrund dieses magnetischen Flusses kann das Magnetaufzeichnungsmedium **106** verschiedene In-

formationen aufzeichnen.

[0079] **Fig. 6B** zeigt einen Zwischenspalt-Magneto-Widerstandskopf. Wie in **Fig. 6B** gezeigt, sind weichmagnetische Schichten **111**, **114** voneinander beabstandet gegenüberliegend angeordnet, die als magnetische Pole dienen.

[0080] Die zuvor beschriebene Magneto-Widerstandsvorrichtung ist in einen Spalt eines Bereiches **115** eingesetzt, der einem Magnetaufzeichnungsmedium gegenüberliegt. In einem Zwischenraum zwischen den weichmagnetischen Schichten **111** und **114** ist eine Spule **113** angeordnet, die einen magnetischen Fluß erzeugt, der die weichmagnetischen Schichten **111**, **114** durchsetzt.

[0081] Um Korrosion oder einen direkten Kontakt mit dem Magnetaufzeichnungsmedium zu vermeiden, ist die Magneto-Widerstandsvorrichtung innerhalb des Magnetkopfes angeordnet, ohne über den dem Magnetaufzeichnungsmedium **116** gegenüberliegenden Bereich **115** hinauszuragen. Eine Magnetflußführung **112a** befindet sich im Bereich **115**, wobei die Magnetflußführung **112a** gegenüber der Magneto-Widerstandsvorrichtung elektrisch isoliert und mit ihr magnetisch gekoppelt ist. Das von dem Magnetaufzeichnungsmedium **116** erzeugte Leck-Magnetfeld tritt in die Magnetflußführung **112a** ein und wird anschließend durch die Magneto-Widerstandsvorrichtung erfaßt. An der anderen Seite der Magneto-Widerstandsvorrichtung befindet sich eine weitere Magnetflußführung **112b**, die gegenüber der Magneto-Widerstandsvorrichtung elektrisch isoliert und mit dieser magnetisch gekoppelt ist, um den Magnetfluß von der Magneto-Widerstandsvorrichtung zu den weichmagnetischen Schichten **111**, **114** zu leiten.

[0082] **Fig. 6C** zeigt einen Joch-Magneto-Widerstandskopf. Wie in **Fig. 6C** gezeigt, sind weichmagnetische Schichten **121**, **123a** und **123b** voneinander beabstandet gegenüberliegend angeordnet. Diese weichmagnetischen Schichten **121**, **123a** und **123b** dienen als magnetische Pole. Eine Spule **121** ist in einem Zwischenraum zwischen den weichmagnetischen Schichten **121**, **123a** und **123b** vorhanden und erzeugt einen Magnetfluß, der die weichmagnetischen Schichten **121**, **123a** und **123b** durchsetzt. Die Magneto-Widerstandsvorrichtung ist an einem Ende der weichmagnetischen Schichten **123a** und **123b** positioniert, wobei sie von den weichmagnetischen Schichten **123a** und **123b** elektrisch isoliert und mit ihnen magnetisch gekoppelt ist. Durch den magnetischen Fluß, der durch die Spule **122** erzeugt wird und die weichmagnetischen Schichten **121**, **123a** und **123b** durchsetzt, wird im Spalt des Bereiches **124** ein Leck-Magnetfeld erzeugt, so daß das Magnetaufzeichnungsmedium **125** verschiedene Informationen aufzeichnen kann.

[0083] Bei den in **Fig. 6A-Fig. 6C** dargestellten Magnetaufzeichnungsvorrichtungen ist ein Substrat, auf dem der Magnetkopf ausgebildet ist, sowie Isolierschichten zwischen den weichmagnetischen Schichten etc. nicht dargestellt.

[0084] Mit den zuvor beschriebenen Magnetaufzeichnungsvorrichtungen kann eine Magnetaufzeichnungsvorrichtung geschaffen werden, die eine stabile magnetische Charakteristik sowie einen hohen Gewinn aufweist, da die Magneto-Widerstandsvorrichtungen gemäß den zuvor beschriebenen ersten bis zweiten Ausführungsbeispielen verwendet werden.

[0085] Es sei darauf hingewiesen, daß die erfindungsgemäße Magneto-Widerstandsvorrichtung neben den zuvor beschriebenen Magnetaufzeichnungsvorrichtungen auch in verschiedenen anderen Magnetaufzeichnungsvorrichtungen eingesetzt werden kann.

[0086] Des weiteren kann die erfindungsgemäße Magneto-Widerstandsvorrichtung auch in einem Nur-Wiedergabe-Magnetaufzeichnungsgerät eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Magneto-Widerstandskopf zum Erfassen eines Signal-Magnetfeldes (H_{sig}), umfassend eine erste ferromagnetische Schicht (**13**) aus einer ersten Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung mit 5-40 Atom-% Nickel und 30-95 Atom-% Kobalt, wobei sich die Magnetisierungsrichtung (M_a) der ersten ferromagnetischen Schicht (**13**) entsprechend der Stärke eines Signal-Magnetfeldes (H_{sig}) verändert; eine nichtmagnetische Metallschicht (**14**) auf der ersten ferromagnetischen Schicht (**13**); eine zweite ferromagnetische Schicht (**15**) aus einer zweiten Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung mit 5-40 Atom-% Nickel und 30-95 Atom-% Kobalt auf der nichtmagnetischen Metallschicht (**14**); und eine antiferromagnetische Schicht (**16**), die die zweite ferromagnetische Schicht (**15**) auf der gesamten Oberfläche der zweiten ferromagnetischen Schicht (**15**) kontaktiert und die Magnetisierungsrichtung (M_b) der zweiten ferromagnetischen Schicht (**15**) durch eine Wechselwirkung auch bei Anlegen des Signal-Magnetfeldes (H_{sig}) an die zweite ferromagnetische Schicht (**15**) bestimmt, wobei die Kristallstruktur der ersten und zweiten ferromagnetischen Schicht (**23**, **25**) jeweils ein kubisch-flächenzentriertes Gitter ist.

2. Magneto-Widerstandskopf nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung eine Null-Magnetostriktion aufweist.

3. Magneto-Widerstandskopf nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Koerzitivkraft der ersten Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung kleiner als 795,775 A/m (10 Oe) ist.

4. Magneto-Widerstandskopf nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung 40-50 Atom-% Kobalt und 24-35 Atom-% Nickel aufweist.

5. Magneto-Widerstandskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Koerzitivkraft der zweiten Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung kleiner als das durch die antiferromagnetische Schicht (26) erzeugte anisotrope Magnetfeld ist.

6. Magneto-Widerstandskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung 80-90 Atom-% Kobalt und höchstens 20 Atom-% Nickel aufweist.

7. Magneto-Widerstandskopf nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung 40-50 Atom-% Kobalt und 24-35 Atom-% Nickel aufweist, und dass die zweite Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung 80-90 Atom-% Kobalt und höchstens 20 Atom-% Nickel aufweist.

8. Verwendung eines Magneto-Widerstandskopfs nach einem der vorhergehenden Ansprüche als Magnetaufzeichnungsvorrichtung.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG.1

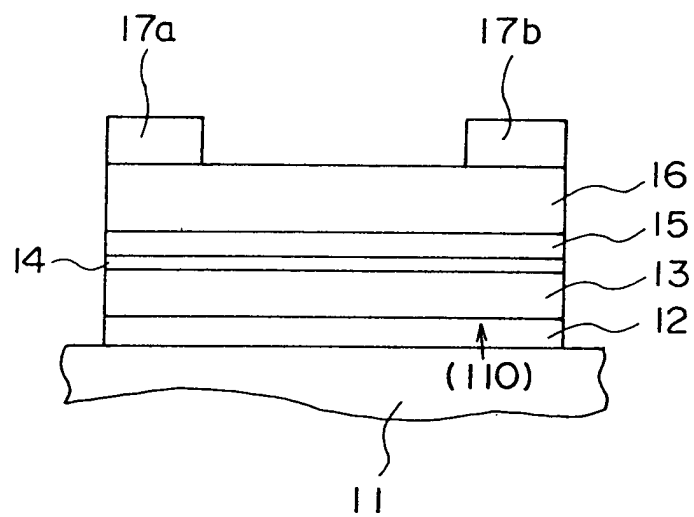


FIG.2

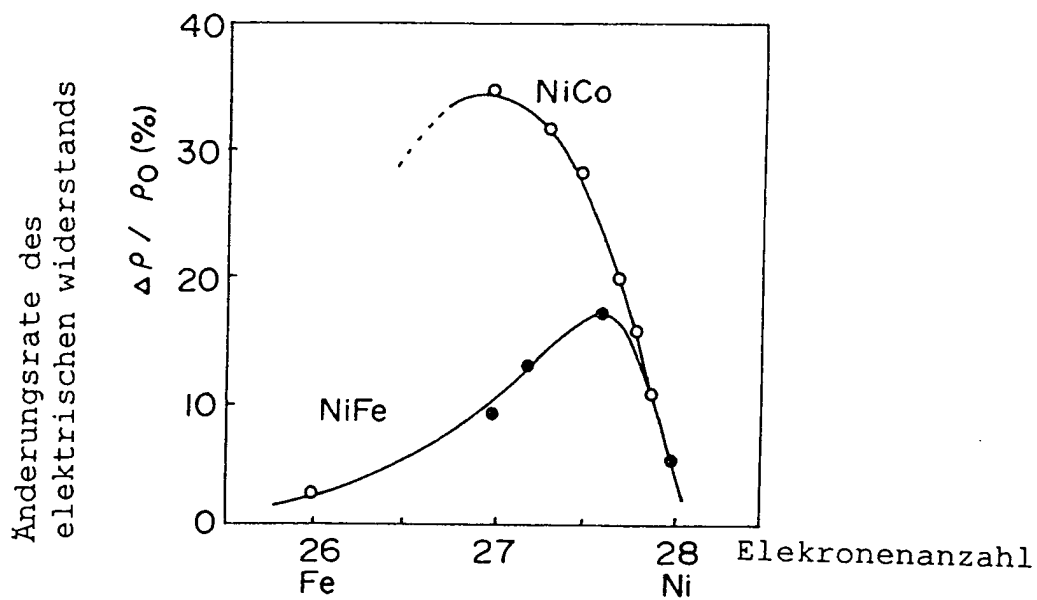


FIG.3

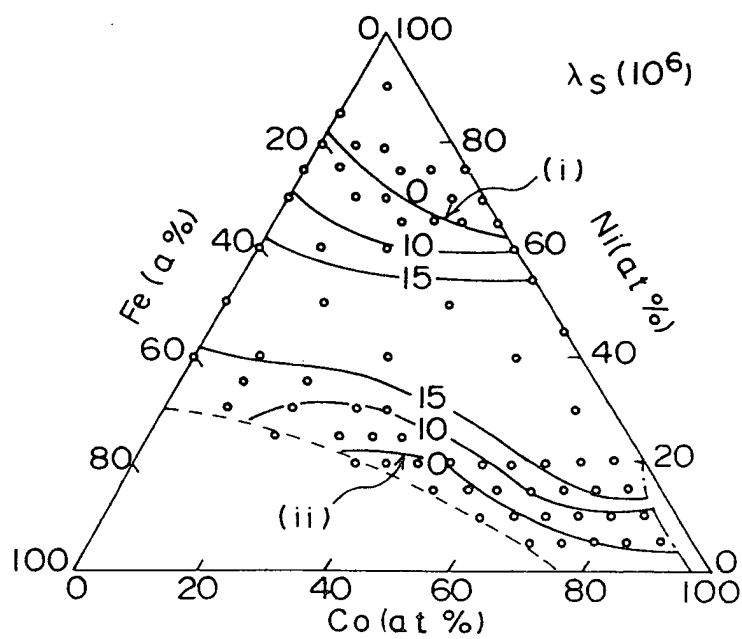


FIG.4A

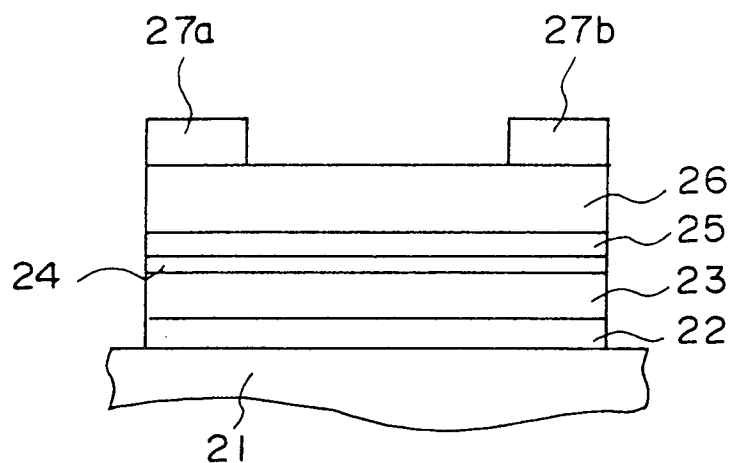


FIG.4B

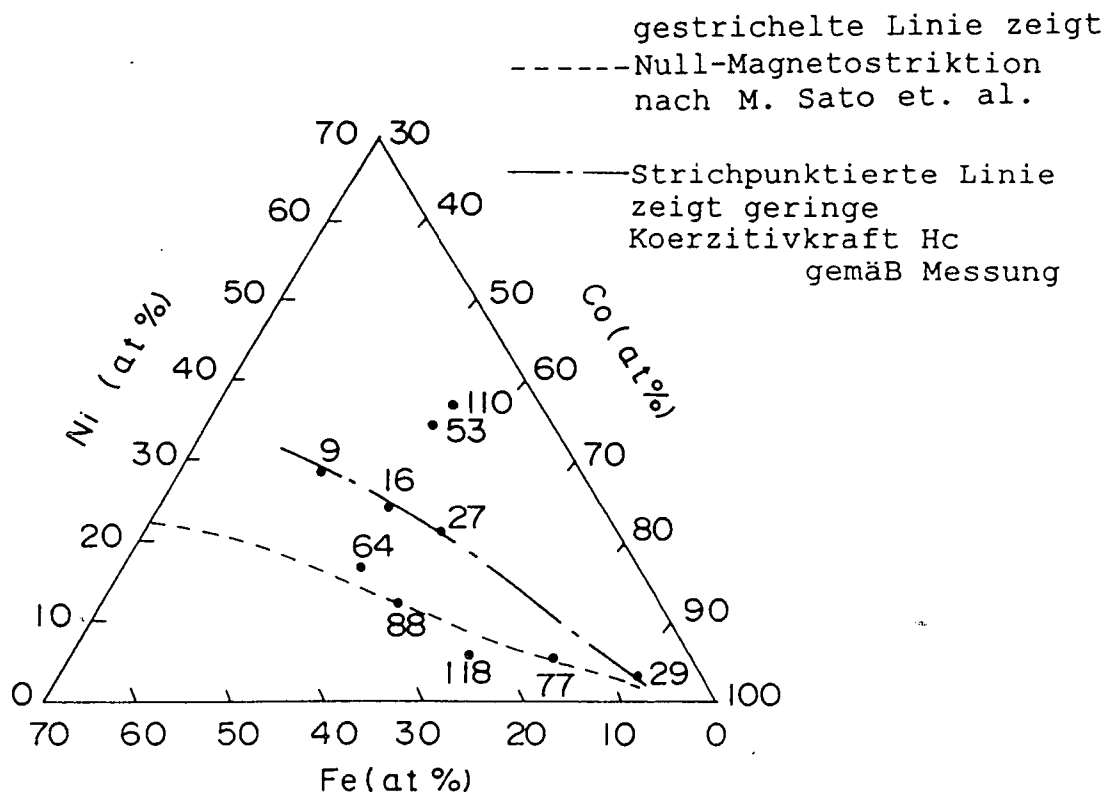
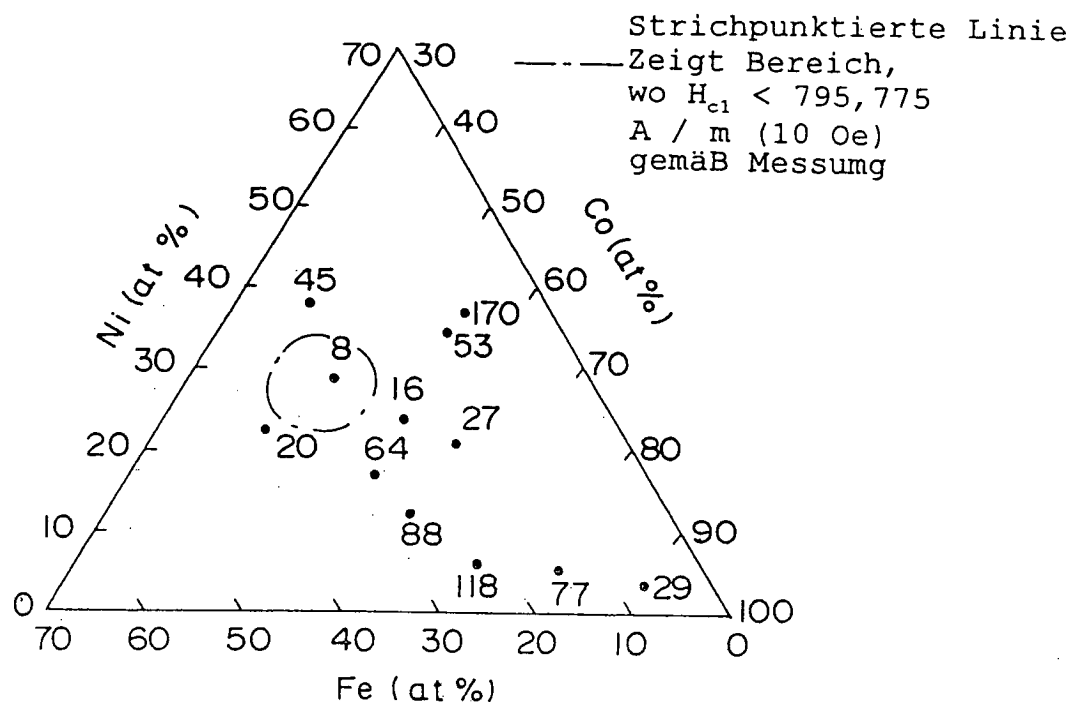
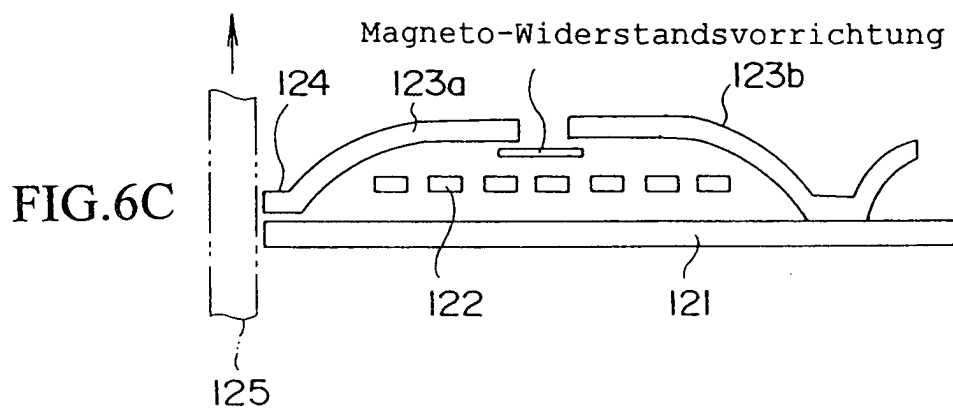
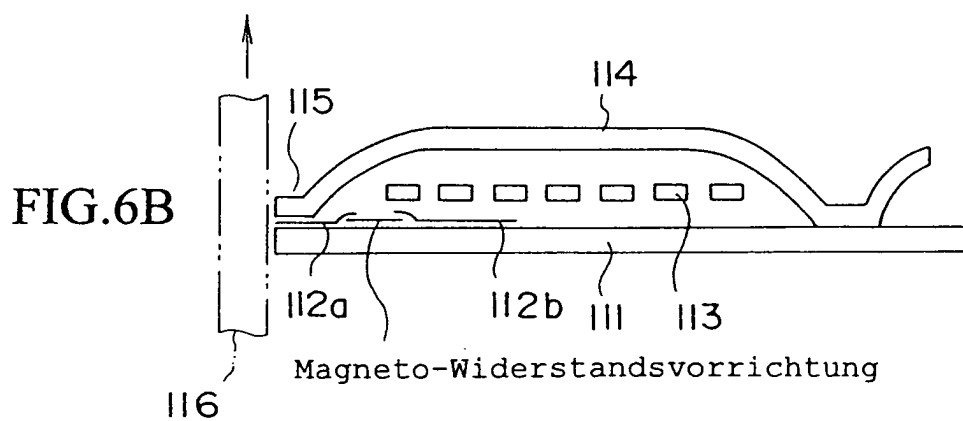
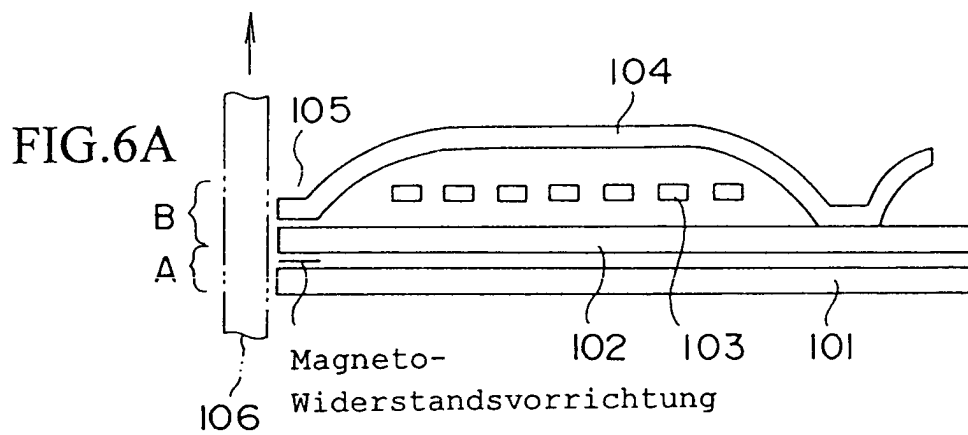
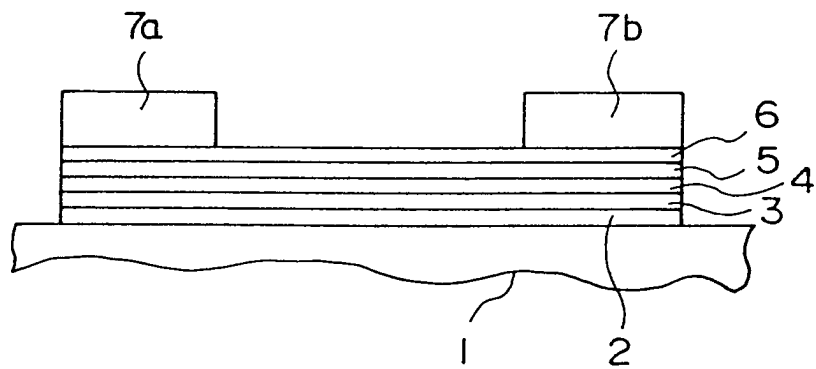


FIG.5





Stand der Technik
FIG.7A



Stand der Technik
FIG.7B

