



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 12 713 T2** 2007.07.12

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 547 101 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 12 713.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/23508**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 791 612.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/021372**

(86) PCT-Anmeldetag: **25.07.2003**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **11.03.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.06.2005**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **21.03.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.07.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01F 10/32** (2006.01)  
**G11C 11/16** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**232164**      **30.08.2002**      **US**

(73) Patentinhaber:

**Freescale Semiconductors, Inc., Austin, Tex., US**

(74) Vertreter:

**SCHUMACHER & WILLSAU,**  
**Patentanwaltssozietät, 80335 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,**  
**GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,**  
**TR**

(72) Erfinder:

**SLAUGHTER, Jon M., Tempe, AZ 85284, US;**  
**DAVE, Renu W., Chandler, AZ 85226, US;**  
**PIETAMBARAM, Srinivas V., Chandler, AZ 85225,**  
**US**

(54) Bezeichnung: **AMORPHE LEGIERUNGEN FÜR MAGNETEINRICHTUNGEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf Magnetoelektronik und im Besonderen auf eine Materialzusammensetzung für Magneto-elektronikelemente.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Magnetoelektronik, Spinelektronik und Spintronik sind synonyme Ausdrücke für die Verwendung von Effekten, die in erster Linie durch Elektronenspin verursacht werden. Magnetoelektronik wird in zahlreichen Informationsvorrichtungen verwendet und stellt eine nichtflüchtige, verlässliche, strahlungssichere Datenspeicherung und -bereitstellung hoher Dichte zur Verfügung. Die zahlreichen Magneto-elektronik-Informationsvorrichtungen umfassen, ohne darauf beschränkt zu sein, magnetische Schreib-/Lesespeicher (MRAM), magnetische Sensoren und Leseköpfe für Laufwerke.

**[0003]** Typischerweise verfügt eine Magneto-elektronikvorrichtung, wie zum Beispiel ein magnetisches Speicherelement, über eine Struktur, die mehrere ferromagnetische Schichten umfasst, die durch mindestens eine nichtmagnetische Schicht getrennt sind. In einem Speicherelement werden Informationen als Ausrichtungen von Magnetisierungsvektoren in den magnetischen Schichten gespeichert. Magnetisierungsvektoren in einer magnetischen Schicht sind zum Beispiel magnetisch fest, oder verfügen über eine feste Magnetisierung, während die Magnetisierungsrichtung der anderen magnetischen Schicht zwischen der selben oder entgegengesetzten Ausrichtung umzuschalten, die "parallele" beziehungsweise "antiparallele" Zustände genannt werden. In Reaktion auf parallele und antiparallele Zustände stellt das magnetische Speicherelement zwei verschiedene Widerstände dar. Der Widerstand verfügt über einen minimalen und einen maximalen Wert, wenn die Magnetisierungsvektoren der zwei magnetischen Schichten im Wesentlichen in die selbe beziehungsweise entgegengesetzte Richtung zeigen. Dementsprechend gestattet eine Erfassung einer Widerstandsänderung einer Vorrichtung, wie zum Beispiel einer MRAM-Vorrichtung, Informationen zur Verfügung zu stellen, die in dem magnetischen Speicherelement gespeichert sind. Die Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Widerstandswert geteilt durch den minimalen Widerstand ist als das MR-Verhältnis ( $MR = \text{magnetischer Widerstand}$ ) bekannt.

**[0004]** Die physikalische Struktur dieser magnetischen Elemente umfasst typischerweise dünne Schichten, von denen einige über eine Dicke in dem Bereich von mehreren zehn Angström verfügen. Die

Funktionen des magnetischen Elementes ist außerdem relativ empfindlich gegenüber den Oberflächenbedingungen, auf die die magnetischen Schichten aufgebracht werden. Dementsprechend ist es im Allgemeinen wünschenswert eine Oberfläche herzustellen, die so glatt wie möglich ist, um zu verhindern, dass die Betriebsmerkmale eines magnetischen Elementes unerwünschte Merkmale aufweisen.

**[0005]** Während einer typischen Herstellung eines magnetischen Elementes, wie zum Beispiel der Herstellung eines MRAM-Elementes, die Metallfilme umfasst, die durch Aufstäuben, Verdampfung oder Epitaxie-Techniken gebildet werden, sind die Filmoberflächen nicht absolut glatt, sondern neigen stattdessen dazu, eine gewisse Oberflächen- oder Schnittstellen-Rauhigkeit zu zeigen. Diese Rauhigkeit der Oberflächen und/oder Schnittstellen der ferromagnetischen Schichten kann eine Quelle einer magnetischen Kopplung zwischen der freien ferromagnetischen Schicht und den anderen ferromagnetischen Schichten sein, wie zum Beispiel der festen Schicht, oder Schicht mit fester Magnetisierung. Diese magnetische Kopplung ist allgemein als "topologische Kopplung" oder "Néel's Apfelsinenschalten-Kopplung" bekannt. In magnetischen Elementen ist eine solche Kopplung typischerweise unerwünscht, weil sie ein Offset in der Reaktion der freien Schicht auf ein externes magnetische Feld erzeugen kann. Zusätzlich kann die Rauhigkeit, durch eine Streuung von Leitungselektronen oder durch Verursachen von Schwankungen des Tunnelungsstromes der Tunnelverbindung, außerdem ein bestimmtes Ausmaß von Verschlechterung der elektrischen Merkmale der Vorrichtung einführen.

**[0006]** Eine magnetische Struktur wird als unten fest bezeichnet, wenn die feste Schicht vor der Abstandsschicht gebildet wird und die freie Schicht nach der Abstandsschicht gebildet wird. In einer solchen unten festen Struktur ist die antiferromagnetische (AF) Pinning-Schicht in der magnetischen Bodenelektrode enthalten. Herkömmliche unten feste magnetische Tunnelverbindungen (MTJs) und Drehventilstrukturen verwenden typischerweise Saat- und Schablonenschichten, um eine orientierte kristalline AF-Schicht für ein starkes Pinning zu erzeugen.

**[0007]** Die Bodenelektrode einer typischen unten festen MTJ-Struktur umfasst gestapelte Schichten von Tantal, einer Nickel-Eisen-Legierung, Iridium-Mangan und einer Kobalt-Eisen-Legierung (Ta/NiFe/IrMn/CoFe), worauf im Allgemeinen eine Aluminiumoxid (AlOx)-Tunnelgrenze und eine Kopfelektrode folgt, die typischerweise eine freie Schicht von Nickel-Eisen (NiFe) umfasst, wobei die Tantalnitrid-Eisen (TaNi/Fe) Saat-/Schablonenschichten ein Wachstum einer hochgradig orientierten Iridium-Mangan (IrMn)-Schicht induziert. Diese hochgradig orientierte IrMn-Schicht stellt ein starkes Pinning

der CoFe-Schicht unter der AlO<sub>x</sub>-Tunnelgrenze zur Verfügung. Die IrMn-Schicht, oder eine ähnlich orientierte polykristalline AF-Schicht, erzeugt jedoch typischerweise eine Rauigkeit, die eine Erhöhung der unerwünschten Neel-Kopplung zwischen der Co-Fe-Schicht mit fester Magnetisierung und der oberen freien NiFe-Schicht, sowie andere unerwünschte elektrische Merkmale, verursachen kann.

**[0008]** In praktischen MTJ-Elementen wird die Bodenelektrode im Allgemeinen auf einer Basismetallschicht gebildet, die der Verbindung einen Kontakt mit einem relativ niedrigen Widerstand zur Verfügung stellt. Die Basismetallschicht ist typischerweise polykristallin und erzeugt eine Rauigkeit, die sich ihrerseits in die Bodenelektrode fortpflanzt und außerdem eine Rauigkeit bei den Abstandsschnittstellen erzeugen kann, was zu einer Zunahme einer unerwünschten Neel-Kopplung zwischen der Co-Fe-Schicht mit fester Magnetisierung und der oberen freien NiFe-Schicht führt. Die Rauigkeit, die sich von der Basismetallschicht und der Bodenelektrode fortpflanzt, ist zusätzlich unerwünscht, weil sie die erreichbare minimale Dicke der Tunnelgrenze begrenzen kann, während ein hoher MR und ein Vorrichtungswiderstand, der spiegelbildlich mit dem Verbindungsbereich skaliert, beibehalten werden. Dementsprechend ist es im Allgemeinen wünschenswert, wo dies möglich ist, die Oberflächenrauigkeit der verschiedenen Schichten zu verringern.

**[0009]** Dieser Wunsch, die Rauigkeit der Schichten und der Schichtschnittstellen zu verringern, hat zu einer Verwendung von nichtkristallinen oder amorphen Materialien in verschiedenen Schichten eines mehrschichtigen MTJ-Stapels geführt. Da den amorphen Materialien typischerweise die kristallinen Grenzen und die scharfen Merkmale anderer Materialien fehlen, stellt die Tunnelgrenze, die aus den Schichten mit den amorphen Materialien resultiert, typischerweise verbesserte Vorrichtungsfunktionen zur Verfügung. Zusätzlich zu den vorteilhaften Eigenschaften, die bei einem Bilden von Tunnelgrenzen nützlich sind, zeigen jedoch viele amorphe Materialien außerdem ebenso bestimmte unerwünschte Merkmale. Im Besonderen zeigen die meisten amorphen Legierungen mindestens eine unerwünschte Eigenschaft, wie zum Beispiel eine niedrige Neukristallisationstemperatur, einen niedrigen MR, eine hohe Dispersion, eine hohe Magnetostriktion, oder eine instabile Anisotropie. In Abhängigkeit von den gewünschten Funktionsmerkmalen der spezifischen magnetischen Widerstandselemente können einige dieser Merkmale zu Vorrichtungen mit relativ schlechten Funktionen führen.

**[0010]** Die japanischen Patentzusammenfassungen Band 2000, Nr. 20, 10. Juli 2001 offenbaren eine amorphe Ferromagnetismusschicht, die aus CoFeX besteht, wobei X mehrere Materialien umfasst, die

Bor umfassen.

**[0011]** Dementsprechend ist es wünschenswert, Materialien zur Verfügung zu stellen, die nicht nur die Oberflächenrauigkeit der verschiedenen Schichten verringern, die die MTJ-Elemente bilden, sondern die nicht zusätzlich negative Leistungsfaktoren in die resultierende Magnetoelektronikvorrichtung einführen. Weiterhin werden andere wünschenswerte Eigenschaften und Merkmale der vorliegenden Erfindung aus der nachfolgenden Beschreibung und den angehängten Ansprüchen in Verbindung mit den begleitenden Abbildungen deutlich.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0012]** Die vorliegende Erfindung wird nachstehend in Verbindung mit den angehängten Zeichnungen beschrieben, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente bezeichnen.

**[0013]** [Fig. 1](#) ist eine Tabelle, die die verschiedenen Eigenschaften von bestimmten Legierungen vergleicht, die zur Verwendung in MTJ-Anwendungen geeignet sind, die eine spezifische Legierung umfassen, die bezüglich einer bevorzugten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung am geeignetsten angesehen wird;

**[0014]** [Fig. 2](#) ist eine Querschnittsansicht eines magnetischen Elementes mit einer verbesserten magnetischen Reaktion gemäß einer bevorzugten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

**[0015]** [Fig. 3](#) ist eine Querschnittsansicht einer Ziffernleitung mit einer Hüllschicht gemäß einer bevorzugten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

#### Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

**[0016]** Die folgende ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen ist von lediglich exemplarischer Natur und soll die Erfindung oder die Anwendung und Verwendungen der Erfindung nicht begrenzen. weiterhin liegt keine Absicht vor, durch irgendeine in dem vorangehenden Hintergrund der Erfindung oder der folgenden ausführlichen Beschreibung der bevorzugten beispielhaften Ausführungsformen präsentierte Theorie gebunden zu sein.

**[0017]** Die folgenden Merkmale werden als wünschenswert angesehen, um glattere Schichten und verbesserte magnetische Funktionen in einer magnetoelektronischen Vorrichtung zur Verfügung zu stellen: eine relativ niedrige Magnetostriktion; eine relativ hohe Neukristallisationstemperatur (das heißt, höher als 300°C); eine minimale Dispersion (räumliche Schwankung) von Anisotropie; eine relativ hohe

Stabilität von Anisotropie; eine im Wesentlichen nickelfreie (Nifreie) Zusammensetzung, um die Temperaturwechselbeständigkeit des MTJ-Stapels zu erhöhen; ein Magnetrostriktionskoeffizient ( $\lambda$ ) von nahezu Null, und eine relativ hohe Polarisierung für einen hohen prozentualen Anteil von MR. Obwohl diese Liste wünschenswerter Merkmale nicht exklusiv oder vollständig ist, zeigt sie einige der hervorstechendsten Merkmale an, die berücksichtigt werden können, wenn Materialien zur Herstellung von ferromagnetischen Schichten in magnetoelektronischen Vorrichtungen gemäß den bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ausgewählt werden.

**[0018]** Dementsprechend werden hierin verschiedene amorphe Legierungen offenbart, die in verschiedenen Kombinationen, die oben diskutierten erwünschten Merkmale aufweisen. Zum Zwecke einer Diskussion der verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung soll der hierin verwendete Ausdruck "amorph" Materialschichten meinen, in denen es keine weitreichende kristalline Ordnung gibt, wie zum Beispiel die, die unter Verwendung von normalen Röntgenbeugungsmessungen zu einem einfach erkennbaren Peak führt.

**[0019]** Es wird nun auf [Fig. 1](#) Bezug genommen, darin stellt eine Tabelle **100** verschiedene Arten von ferromagnetischen Legierungen dar, die zur Verwendung in einem magnetoelektronischen Element berücksichtigt werden können. Diese verschiedenen Legierungen sind in den Zeilen **110–170** aufgelistet. Bestimmte Merkmale, die für jede in den Zeilen **110–170** gezeigte Legierung von Interesse sind, werden in den Spalten **105–155** gezeigt. Es ist zu beachten, dass die in der Tabelle **100** von [Fig. 1](#) gezeigten Daten für Legierungen relevant sind, die auf einer AlOx-Schicht gewachsen sind, wie es für magnetische Schichten typisch ist, die auf AlOx-Tunnelgrenzen gewachsen sind, die in verschiedenen Tunnelverbindungen gefunden werden, die im Allgemeinen zur Herstellung von magnetoelektronischen Vorrichtungen verwendet werden.

**[0020]** Um eine freie Schicht mit guten Schalteigenschaften zur Verfügung zu stellen, verfügt die Legierung der freien Schicht höchst vorzugsweise über gute weiche magnetische Eigenschaften, die umfassen: rechteckige Easy-Achsen-Magnetisierungsschleifen; geschlossene Hart-Achsen-Schleifen mit einem gut definierten Knickfeld ( $H_k$ ) mit einer relativ niedrigen oder vernachlässigbaren Restmagnetisierung; eine relativ niedrige Koerzitivkraft ( $H_c$ ) sowohl in der Easy- als auch Hart-Ausrichtung; und ein niedriger Magnetrostriktionskoeffizient ( $\lambda$ ), wie zum Beispiel  $\lambda < 10^{-6}$ . Zusätzlich ist es für einige Vorrichtungskonstruktionen wünschenswert, über ein großes  $H_k$  zu verfügen, zum Beispiel im Vergleich zu dem Permalloy ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ). In MRAM-Zellen erhöht das große  $H_k$  den Beitrag des Materials zu dem Schaltfeld eines

bemusterten Bits. Dies erlaubt die Verwendung von Bits mit einem niedrigeren Seitenverhältnis, zum Beispiel Länge/Breite  $< 2$ , was zu einer kleineren Vorrichtung führt. Wenn verwendet, um das Schaltfeld maßgeblich zu steuern, verfügt eine Legierung mit einem relativ hohen  $H_k$  höchst vorzugsweise über eine niedrige Dispersion (räumliche Schwankung) von  $H_k$ , um die Bit-zu-Bit-Schwankungen in einem Schaltfeld relativ klein zu halten. Zur Verwendung in entweder der freien oder der festen Schicht einer MTJ-Vorrichtung wird eine Legierung mit einer relativ hoher Polarisierung gewünscht, um einen hohen MR zur Verfügung zu stellen. Dementsprechend wird eine Legierung bevorzugt, die einen MR erzeugt, der größer als ungefähr 30% ist, und eine Legierung ist höchst wünschenswert, die einen MR erzeugt, der größer als ungefähr 40% ist. Schließlich sollte, aus Gründen der Stabilität der Legierung während der Verarbeitung und nachfolgender Verwendung in verschiedenen Vorrichtungsanwendungen, die Neukristallisationstemperatur der amorphen Legierung vorzugsweise mindestens 200°C und höchst vorzugsweise mindestens ungefähr 300°C oder mehr betragen.

**[0021]** Durch Verwenden dieser verschiedenen Leistungskriterien als die Basis für eine Formulierung können die verschiedenen in der Tabelle **100** gezeigten Legierungen verglichen und hinsichtlich einer Eignung bewertet werden. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, ist die Kobalt-Eisen-Bor (CoFeB)-Legierung, die in der Zeile **130** gezeigt wird, für diese Verwendung besonders gut geeignet. Das Co-zu-Fe-Verhältnis der Legierung beeinflusst sowohl die Magnetrostriktion als auch die Polarisierung der Schicht. Für Anwendungen der Legierung in einer MTJ-freien Schicht wird Fe mit einer Magnetisierung von Null oder nahezu Null gewählt. Die Menge an Bor (B), die in der Legierung enthalten ist, steuert die Neukristallisation und Polarisierung der resultierenden MTJ-Vorrichtung. Mehr Bor führt zu einer relativ höheren Neukristallisationstemperatur aber einer relativ niedrigeren Polarisierung. Dementsprechend kann die spezifische Zusammensetzung der Legierung für verschiedene Leistungskriterien basierend auf der spezifischen Anwendung optimiert werden. Die in der Tabelle **100** von [Fig. 1](#) gezeigten Werte sind experimentelle Messungen mit Bereichen, die Legierungen zeigen, die genug Fe enthalten um den gewünschten MR zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich zu der in der Tabelle **100** von [Fig. 1](#) gezeigten CoFeB-Legierung können andere neue CoFe-Legierungen verwendet werden, um MTJ-Stapel und dergleichen zu erzeugen. Zu Diskussionszwecken können diese verschiedenen Legierungen als CoFeX dargestellt werden, wobei X ein anderes geeignetes Element, wie zum Beispiel Tantal (Ta) oder Hafnium (Hf), darstellt.

**[0022]** Es wird nun auf [Fig. 2](#) Bezug genommen, darin wird ein magnetisches Element **200**, das zur Verwendung mit einer bevorzugten beispielhaften

Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geeignet ist, gezeigt. Die Struktur des magnetischen Elementes **200** umfasst ein Substrat **212**, eine erste mehrschichtige Stapelelektrode **214**, eine Abstandsschicht **216**, die oxidiertes Aluminium umfasst, und eine zweite mehrschichtige Stapelelektrode **218**. Es ist klar, dass die spezifische Zusammensetzung der Abstandsschicht **216** von der Art des hergestellten magnetischen Elementes abhängt. Im Besonderen wird, in einer MTJ-Struktur, die Abstandsschicht **216** vorzugsweise aus einem dielektrischen Material und höchst vorzugsweise aus Aluminiumoxid (AlOx) gebildet und, in einer Drehventilstruktur, die Abstandsschicht **216** aus einem leitenden Material gebildet. Die erste mehrschichtige Stapelelektrode **214** und die zweite mehrschichtige Stapelelektrode **218** umfassen ferromagnetische Schichten. Die ersten Elektrodenschichten **214** werden auf einer Basismetallschicht **213** gebildet, die auf dem Substrat **212** gebildet wird. Die Basismetallschicht **213** wird so offenbart, dass sie aus einem einzelnen Metallmaterial oder einer einzelnen Metallschicht zusammengesetzt ist, oder alternativ kann die Basismetallschicht **213** ein mehrschichtiger Stapel von mehr als einem Metallmaterial oder einer Metallschicht sein. In beiden Fällen stellt die Basismetallschicht **213** einen elektrischen Kontakt zu den ersten Elektrodenschichten **214** zur Verfügung.

**[0023]** Die erste Elektrodenschichten **214** umfassen eine erste Saatschicht **220**, die auf die Basismetallschicht **213** aufgebracht ist, eine Schablonenschicht **222**, eine Schicht einer antiferromagnetischen Pinning-Schicht **224**, eine ferromagnetische Schicht **225** mit fester Magnetisierung, die auf der unterliegenden antiferromagnetischen Pinning-Schicht **224** gebildet und mit dieser austauschgekoppelt ist, und eine auf eine metallische Kopplungsschicht **223** gebildete feste Schicht **226**. Die metallische Kopplungsschicht **223** ist auf der ferromagnetischen Schicht **225** mit fester Magnetisierung gebildet. Typischerweise wird die Saatschicht **220** aus Tantalnitrid (TaNx) mit einer darauf gebildeten Schablonenschicht **222** gebildet. Die Schablonenschicht **222** in dieser bestimmten Ausführungsform wird aus Ruthenium (Ru) gebildet.

**[0024]** Die ferromagnetischen Schichten **225** und **226** werden durch eine metallische Kopplungsschicht **223** getrennt. Die metallische Kopplungsschicht **223** umfasst höchst vorzugsweise Ruthenium und erzeugt zusammen mit den ferromagnetischen Schichten **225** und **226** eine SAF-freie Schicht (SAF = synthetischer Antiferromagnet). Die durch die metallische Kopplungsschicht **223** zur Verfügung gestellte antiferromagnetische Kopplung macht das magnetische Element **200** in zugeführten magnetischen Feldern stabiler. Zusätzlich kann, durch Variieren der Dicke der ferromagnetischen Schichten **225** und **226**, eine magnetostatische Kopplung versetzt und die Hystereseschleife zentriert werden.

**[0025]** Die ferromagnetischen Schichten **225** und **226** werden als Schichten mit fester Magnetisierung und fest beschrieben, so dass ihr magnetisches Moment daran gehindert wird, sich in der Gegenwart eines zugeführten magnetischen Feldes zu drehen. In den meisten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind die ferromagnetische Schicht **225** und/oder die ferromagnetische Schicht **226** eine Legierung aus Kobalt (Co), Eisen (Fe) und Bor (B), in Atomprozent umfassend: Co (71,2%), Fe (8,8%) und B (20%). Diese Zusammensetzung ist eine CoFe-Legierung mit hinzugefügtem B und kann als  $(\text{Co}_{89}\text{Fe}_{11})_{80}\text{B}_{20}$  dargestellt werden. Für die ferromagnetischen Schichten **225** und **226** kann der prozentuale Anteil von Eisen in dem Bereich von 10,5% und 25% und der prozentuale Anteil von Bor in dem Bereich von 15% und 25% liegen.

**[0026]** Es ist zu beachten, dass in dieser spezifischen Ausführungsform MR relativ schnell mit der Eisen (Fe)-Konzentration in diesem Bereich zunimmt. Zusätzlich muss mindestens eine weitere Überlegung angestellt werden, wenn die Menge an Bor, oder eines anderen geeigneten Materials, wie zum Beispiel Hafnium (Hf) oder Tantal (Ta), die in der CoFe-Legierung enthalten sein soll, ausgewählt wird. Im Besonderen neigt die thermische Stabilität dazu, besser zu werden, wenn die Menge an Bor erhöht wird, während das verknüpfte Signal (MR) dazu neigt, abzunehmen. Dementsprechend kann die Konzentration von Bor erhöht werden, wenn eine thermische Stabilität gewünscht wird, und verringert werden, wenn ein höherer MR gewünscht wird. Die Menge an Bor kann in dem Bereich von ungefähr 10%–25% liegen und die meisten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erwägen Bor in dem Bereich von ungefähr 15%–20%.

**[0027]** Der zweite Elektrodenstapel **218** umfasst eine freie ferromagnetische Schicht **228** und eine Kontaktschutzschicht **230**. Das magnetische Moment der freien ferromagnetischen Schicht **228** ist durch keine Austauschkopplung fest, oder mit einer festen Magnetisierung ausgestattet, und kann sich in der Gegenwart eines zugeführten magnetischen Feldes drehen. In den meisten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird die freie ferromagnetische Schicht **228** außerdem aus einer Legierung aus Kobalt (Co), Eisen (Fe) und Bor (B) gebildet, in Atomprozent umfassend: Co (71,2%), Fe (8,8%) und B (20%). Dies ist im Wesentlichen eine CoFe-Legierung mit hinzugefügtem B und kann als  $(\text{Co}_{89}\text{Fe}_{11})_{80}\text{B}_{20}$  dargestellt werden. Für die ferromagnetische Schicht **228** kann der prozentuale Anteil von Eisen in dem Bereich von ungefähr 10,5%–13,5% und der prozentuale Anteil von Bor in dem Bereich von ungefähr 15%–25% liegen.

**[0028]** Im Besonderen kann außerdem eine SAF-freie Schicht mit einem Übergangsmetall, wie

zum Beispiel Ruthenium (Ru) oder Rhodium (Rh), das zwischen zwei CoFeB-Schichten eingeschoben ist, eine starke antiferromagnetische Kopplung zwischen den zwei magnetischen Schichten zur Verfügung stellen. Zusätzlich sind mehrschichtige Stapel, die zusätzliche Schichtpaare von CoFeB und Ru oder Rh umfassen, in verschiedenen freien Schichten nützlich.

**[0029]** Zusätzlich zu den oben diskutierten Co-FeB-Legierungen können andere stabile amorphe Legierungen mit gutem Erfolg in den mit einer festen Magnetisierung ausgestatteten und festen ferromagnetischen Schichten **225** und **226** von [Fig. 2](#) verwendet werden. Im Besonderen kann, da die magnetischen Momente der ferromagnetischen Schichten **225** und **226** während eines normalen Betriebs nicht gedreht oder umgeschaltet werden, die Vorrichtung eine erhebliche Magnetorestriktion in diesen Schichten tolerieren. Dementsprechend kann der Fe-Gehalt in den ferromagnetischen Schichten **225** und **226** erhöht werden, um die Polarisierung zu erhöhen. Beispiele von anderen stabilen amorphen Legierungen, die zur Verwendung in den mit einer festen Magnetisierung ausgestatteten und festen ferromagnetischen Schichten **225** und **226** geeignet sind, umfassen CoFeTa und CoFeHf.

**[0030]** Sowohl Ta als auch Hf verfügen über eine relativ hohe Neukristallisationstemperatur ( $> 350^{\circ}\text{C}$ ). Im Allgemeinen können die erfinderischen Legierungen der vorliegenden Erfindung als  $(\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x)_{100-y}\text{D}_y$  dargestellt werden, was eine Co-Fe-Legierung mit einem ihr hinzugefügten Dotierungsmaterial darstellt. In dieser Gleichung stellt  $x$  das ungefähre Atomprozent von Fe in der CoFe-Legierung dar und  $y$  ist das ungefähre Atomprozent des Dotierungsmaterials D in der Legierung. In der vorliegenden Erfindung verfügen diese Legierungen über eine Zusammensetzung mit  $x$  in einem Bereich von 10,5% und 25% und  $y$  in einem Bereich von 5% und 15%. In der vorliegenden Erfindung kann D ein beliebiger der Stoffe Ta, Hf, TaHf, TaC, HfC, oder TaHfC sein.

**[0031]** Wie aus den Daten in der Tabelle **100** von [Fig. 1](#) ersichtlich, verfügen die CoFeTa- und CoFeHf-Legierungen über ein messbar höheres  $H_K$  als die meisten ferromagnetischen Materialien. Wenn diese spezifischen Legierungen für die Schichten **225** und **226** von [Fig. 2](#) verwendet werden, ermöglicht die relativ große intrinsische Anisotropie mindestens eine Ausführungsform dieser Erfindung, in der die AF-Pinning-Schicht **224** nicht enthalten ist. In dieser Ausführungsform verfügen die Schichten **225** und **226** über die selbe allgemeine Dicke, oder im Besonderen, das selbe magnetische Moment, so dass sie eine symmetrische SAF-Struktur bilden. Weil der SAF im Wesentlichen symmetrisch ist, verfügt er nur über ein kleines, oder kein, Nettomoment in einem

Null-Feld und nur ein kleines Moment aufgrund eines kleinen Winkels zwischen den magnetischen Momenten, wenn ein moderates magnetisches Feld zugeführt wird. Zusammen mit der relativ großen intrinsischen Anisotropie, macht das relativ kleine Nettomoment diese SAF-Struktur in Feldern, die zugeführt werden, um die freie Schicht **228** umzuschalten, relativ stabil, ohne Pinning. Somit kann unter Verwendung der CoFeTa- und CoFeHf-Legierungen der vorliegenden Erfindung ein vereinfachter Stapel dünner Filme ohne eine AF-Pinning-Schicht **224** realisiert werden.

**[0032]** Es ist klar, dass eine umgekehrte oder umgedrehte Struktur durch diese Offenbarung ebenso antizipiert wird. Im Besonderen wird antizipiert, dass das offenbarte magnetische Element so gebildet werden kann, dass es eine oben befestigte oder mit einer festen Magnetisierung ausgestattete Schicht umfasst und als eine oben feste Struktur bezeichnet werden kann.

**[0033]** In noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können die hierin offenbarten amorphen Legierungen verwendet werden, um einen MR-Sensor (MR = magnetischer Widerstand) für einen Lesekopf in einer Direktzugriffsspeichervorrichtung (DASD), wie zum Beispiel einer Festplatte oder dergleichen, zu erzeugen. In dieser Anwendung ist der mehrschichtige Stapel **200** in einem Standardlesekopf eingebaut und wird einem magnetischen Feld ausgesetzt, das von einem beweglichen magnetischen Medium stammt, wie zum Beispiel einer rotierenden Magnetplatte. Um einen Sensor herzustellen, wird das Material verarbeitet, so dass die Easy-Achse der freien Schicht senkrecht zu der Magnetisierung der festen Schicht angeordnet ist.

**[0034]** In dieser Ausführungsform ändert sich das magnetische Feld, das den MR-Sensor umgibt, um die Informationen wiederzuspiegeln, die zuvor auf der Magnetplatte gespeichert worden sind. Die Änderungen in dem magnetischen Feld verursachen, dass das magnetische Moment der freien Schicht von ihrer Easy-Achse mit einer Größenordnung und Richtung weggekippt wird, die von der Art der auf der Platte gespeicherten Information abhängen. Durch Überwachen der mit dem Moment der freien Schicht verknüpften Widerstandsänderung können die auf der Magnetplatte gespeicherten Informationen interpretiert werden.

**[0035]** Zusätzlich zu einer Verwendung in der oben beschriebenen magnetischen Widerstandsvorrichtung kann eine stabile amorphe Legierung mit guten weichen Eigenschaften, einer geringen Dispersion von  $H_K$  und einer mittleren bis hohen Magnetisierung, typisch für Legierungen mit hoher Polarisierung, außerdem für das flusskonzentrierende Material (Um-

hüllung) verwendet werden, das auf den Schreibleitungen in MRAM-Elementen verwendet wird. Diese Merkmale stellen eine im Vergleich zu den NiFe- oder NiFeCo-Legierungen nach dem Stand der Technik verbesserte Umhüllung zur Verfügung, durch Ermöglichen einer dünneren Hüllschicht mit einer geringeren Neigung, unerwünschte magnetische Domänenwandungen oder Wirbel zu bilden. Die amorphe Natur des Materials ist außerdem vorteilhaft, um glatte Seitenwände zu begünstigen und weiterhin eine unerwünschte, während des Aufbringungsprozesses induzierte, Anisotropie zu minimieren. Diese Anwendung der CoFe-basierten Legierungen der vorliegenden Erfindung wird in Verbindung mit [Fig. 3](#) weiter beschrieben.

**[0036]** Es wird nun auf [Fig. 3](#) Bezug genommen, darin wird eine umhüllte Kupfer-Damaszener-Ziffernleitung und Bitstruktur **300** gemäß einer bevorzugten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die umhüllte Kupfer-Damaszener-Ziffernleitung **328** umfasst eine spezifische Co-Fe-Zusammensetzung, die formuliert wird, um bessere Umhüllungsfunktionen zu erreichen, als dies durch zuvor implementierte Hüllmaterialien möglich ist. In dieser spezifischen Ausführungsform ist das MRAM-Bit **310** ein Standard-MRAM-Bit, das gemäß Verfahren gebildet wird, die dem Fachmann auf dem Gebiet gut bekannt sind. Obwohl hierin der Einfachheit halber ein Standard-MRAM-Bit dargestellt wird, ist dem Fachmann auf dem Gebiet klar, dass viele andere Arten von Halbleitervorrichtungen zur Verfügung gestellt werden können. Außerdem ist klar, dass, obwohl nur ein einzelnes MRAM-Bit **310** dargestellt wird, zum Beispiel eine ganze Gruppe von Vorrichtungen oder Steuer-/Treiber-Schaltungen um die Peripherie einer Gruppe von Magnetspeicherbits gebildet werden kann. Weiterhin umfasst [Fig. 3](#) eine Metallkontaktschicht **316**, die das MRAM-Bit **310** an einen Transistor (in dieser FIG. nicht gezeigt) und eine Isolierschicht **330**, die die Bitleitung von der Ziffernleitung **328** isoliert, anschließt.

**[0037]** Während der Herstellung wird die Struktur dadurch gebildet, dass zuerst eine Rinne in einer dielektrischen Schicht **380** bemastert und geätzt wird, gefolgt von dem Aufbringen einer ersten Grenzschicht **320**, einer Flusskonzentrierschicht **322**, einer zweiten Grenzschicht **324**, einer Kupfer (Cu)-Saatschicht **326** und schließlich einer galvanisierten Kupfer (Cu)-Schicht **327**, die zusammen eine Kupfer-Damaszener-Leitung **328** bilden. In den meisten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird die Flusskonzentrierschicht **322** aus einem amorphen magnetischen Material gebildet. Die Flusskonzentrierschicht **322** verfügt über das Merkmal, einen magnetischen Fluss zu konzentrieren, der durch den Strom erzeugt wird, der in dem Leiter fließt, wodurch die Menge an Strom verringert wird, der erforderlich ist, um die gewünschte Aktion zu er-

zeugen.

**[0038]** In den meisten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist die Flusskonzentrierschicht **322** eine amorphe CoFe-X-Legierung, die über eine hohe Permeabilität verfügt, die ausreichend ist, um den magnetischen Fluss in dem gewünschten Bereich zu konzentrieren und mit der restlichen Materialstruktur metallurgisch kompatibel zu sein. In den meisten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist die Flusskonzentrierschicht **322** eine Legierung aus Kobalt (Co), Eisen (Fe) und Bor (B), in Atomprozent umfassend: Co (71,2%), Fe (8,8%) und B (20%). Dies stellt eine Co-Fe-Legierung mit ihr hinzugefügtem B dar und kann als  $(\text{Co}_{89}\text{Fe}_{11})_{80}\text{B}_{20}$  dargestellt werden. Der prozentuale Anteil von Eisen kann in einem Bereich von ungefähr 9,5% und 13,5% und der prozentuale Anteil von Bor kann in einem Bereich von ungefähr 10%–30% und höchst vorzugsweise in dem Bereich von ungefähr 15%–25% liegen.

**[0039]** Die Flusskonzentrierschicht **322** ist höchst vorzugsweise eine nickelfreie (Ni-freie) Legierung. Dies ist wesentlich, weil die Verwendung von Ni bei herkömmlichen Umhüllungsanwendungen typischerweise die Einbeziehung einer Diffusionsgrenzschicht **324** in einem Versuch erfordert, zu verhindern, dass das in der Hüllschicht enthaltene Ni in die Cu-Damaszener-Bitleitung diffundiert. Zusätzlich ist Ni als ziemlich reaktiv und thermisch instabil bekannt, beides Eigenschaften, die für die vorliegende Anwendung als unerwünscht angesehen werden. Schließlich stellen die glatteren Schichten, die durch die Legierungen der vorliegenden Erfindung zur Verfügung gestellt werden, ein wesentlich besseres magnetisches Verhalten zur Verfügung, wenn sie zur Umhüllung aufgebracht werden. Es ist zu beachten, dass eine gekippte Struktur, in der der Fluss abwärts fokussiert wird, ebenfalls durch die hierin offenbarte Umhüllungsanwendung bedacht wird.

**[0040]** Aus der vorangehenden Beschreibung wird klar, dass die verschiedenen Anwendungen von bestimmten CoFeX-Legierungen, die CoFeB-Legierungen umfassen, in Magnetoелектronikelementen, die hierin zur Verfügung gestellt werden, wesentliche Vorteile präsentieren, die dem Fachmann auf dem Gebiet klar sind. Weiterhin ist klar, dass obwohl in den vorangehenden Beschreibungen mehrere Ausführungsformen präsentiert worden sind, es eine riesige Zahl von Variationen in den Ausführungsformen gibt. Schließlich ist klar, dass diese Ausführungsformen nur bevorzugte beispielhafte Ausführungsformen sind und den Umfang, die Anwendbarkeit, oder die Konfiguration der Erfindung in keiner Weise begrenzen sollen. Vielmehr stellen die vorangehenden ausführlichen Beschreibungen dem Fachmann auf dem Gebiet einen geeigneten Fahrplan zur Implementierung der bevorzugten beispielhaften Ausfüh-

rungsformen der Erfindung zur Verfügung. Dabei ist klar, dass verschiedene Änderungen in der Funktion und der Anordnung von in den bevorzugten beispielhaften Ausführungsformen beschriebenen Elementen vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der Erfindung, wie in den angehängten Ansprüchen ausgeführt, abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Magnetische Tunnelverbindung, die umfasst: eine erste ferromagnetische Schicht; eine über der ersten ferromagnetischen Schicht gebildete Abstandsschicht; eine über der Abstandsschicht gebildete zweite ferromagnetische Schicht; die magnetische Tunnelverbindung, dadurch gekennzeichnet ist, dass:

die erste ferromagnetische Schicht und/oder die zweite ferromagnetische Schicht eine amorphe  $(\text{Co}_{100-X}\text{Fe}_X)_{100-Y}\text{D}_Y$ -Legierung ist, die X in einem Bereich von 10,5%–25% in Atomprozent umfasst; und D wenigstens Bor (B) mit Y in einem Bereich von 15%–25% in Atomprozent oder Tantal (Ta), Hafnium (Hf), Bor-Kohlenstoff (B-C), Tantal-Kohlenstoff (Ta-C), Tantal-Hafnium (TaHf), Tantal-Hafnium-Kohlenstoff (TaHfC) oder Hafnium-Kohlenstoff (Hf-C) mit Y in einem Bereich von 5%–15% in Atomprozent umfasst.

2. Magnetische Tunnelverbindung gemäß Anspruch 1, wobei die erste ferromagnetische Schicht eine freie Schicht umfasst, wobei die freie Schicht über ein freies magnetisches Moment verfügt, das sich in der Gegenwart eines zugeführten magnetischen Feldes drehen kann; die zweite ferromagnetische Schicht eine feste Schicht umfasst, wobei die feste Schicht über ein festes magnetisches Moment verfügt, wobei das feste magnetische Moment in der Gegenwart eines zugeführten magnetischen Feldes fest ist; und wobei die freie Schicht eine amorphe  $(\text{Co}_{100-X}\text{Fe}_X)_{100-Y}\text{B}_Y$ -Legierung umfasst, wobei die amorphe Legierung ein X in einem Bereich von 10,5%–13,5% in Atomprozent und ein Y in einem Bereich von 15%–25% in Atomprozent umfasst.

3. Magnetische Tunnelverbindung gemäß Anspruch 1, wobei sowohl die erste ferromagnetische Schicht als auch die zweite ferromagnetische Schicht eine amorphe Legierung sind, die in Atomprozent umfassen: Co (71,2%), Fe (8,8%) und B (20%).

4. Magnetische Tunnelverbindung gemäß Anspruch 1, wobei die zweite ferromagnetische Schicht eine freie Schicht ist und eine  $(\text{Co}_{89}\text{Fe}_{11})_{80}\text{B}_{20}$ -Legierung umfasst.

5. Magnetische Tunnelverbindung gemäß Anspruch 1, die umfasst:

ein Substrat; eine auf dem Substrat gebildete Basismetallschicht; eine über der Basismetallschicht gebildete Pinning-Schicht; eine auf der Pinning-Schicht gebildete ferromagnetische Schicht mit fester Magnetisierung ("pinned ferromagnetic layer"); eine auf der Schicht mit fester Magnetisierung gebildete Kopplungsschicht, wobei die erste ferromagnetische Schicht auf der Kopplungsschicht gebildet wird; und wobei die erste ferromagnetische Schicht und die zweite ferromagnetische Schicht jeweils eine amorphe  $(\text{Co}_{100-X}\text{Fe}_X)_{100-Y}\text{B}_Y$ -Legierung umfassen, wobei die amorphe Legierung X in einem Bereich von 10,5%–13,5% in Atomprozent und Y in einem Bereich von 15%–25% in Atomprozent umfassen.

6. Verfahren, das die folgenden Schritte umfasst: Bilden einer Abstandsschicht auf einer ersten ferromagnetischen Schicht; Bilden einer zweiten ferromagnetischen Schicht auf der dielektrischen Abstandsschicht; dadurch gekennzeichnet, dass die erste ferromagnetische Schicht und/oder die zweite ferromagnetische Schicht eine amorphe  $(\text{Co}_{100-X}\text{Fe}_X)_{100-Y}\text{D}_Y$ -Legierung umfassen, die X in einem Bereich von 10,5%–25% in Atomprozent umfassen; und D wenigstens B mit Y in einem Bereich von 15%–25% in Atomprozent oder Ta, Hf, BC, TaC oder HfC mit Y in einem Bereich von 5%–15% in Atomprozent umfasst.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, das weiterhin die folgenden Schritte umfasst: Bilden einer Basismetallschicht auf einem Substrat; Bilden einer Pinning-Schicht über der Basismetallschicht, wobei die erste ferromagnetische Schicht auf der Pinning-Schicht gebildet wird; wobei sowohl die erste ferromagnetische Schicht als auch die zweite ferromagnetische Schicht eine amorphe  $(\text{Co}_{100-X}\text{Fe}_X)_{100-Y}\text{D}_Y$ -Legierung umfassen, die X in einem Bereich von ungefähr 10,5%–25% in Atomprozent umfassen; wobei D B, Ta, Hf, BC, TaC und/oder Hf-C umfasst; und wobei die Abstandsschicht eine Aluminiumoxidschicht umfasst.

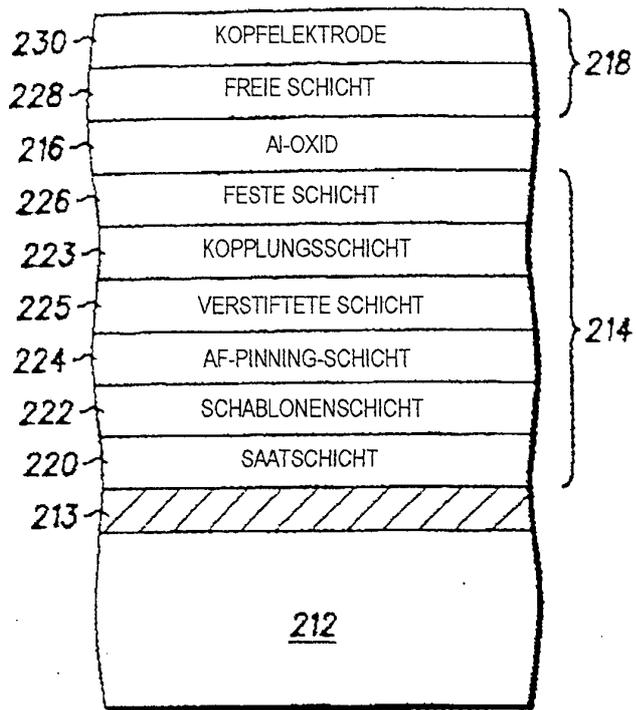
8. Verfahren gemäß Anspruch 6, das weiterhin die folgenden Schritte umfasst: Bilden einer Ziffernleitung unter der Abstandsschicht, der ersten ferromagnetischen Schicht und der zweiten ferromagnetischen Schicht; und Bilden einer Bitleitung, die über der zweiten ferromagnetischen Schicht liegt und orthogonal zu der Ziffernleitung angeordnet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

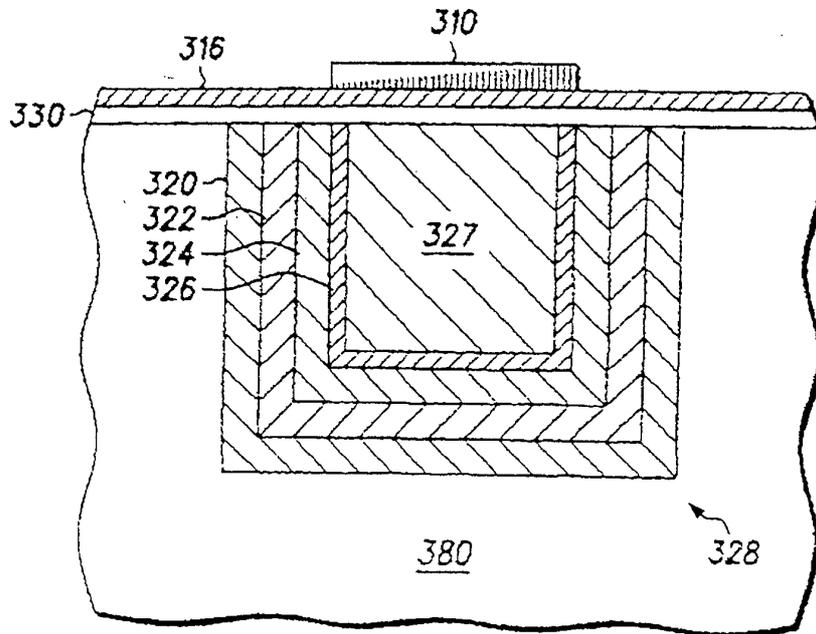
## Anhängende Zeichnungen

	105	115	125	135	145	155
	LEGIERUNG	NEUKRISTALLISIERUNGS- TEMPERATUR	MAGNETOSTRIKTION ( $\lambda$ )	DISPERSION (REL. $\sigma$ )	POLARISIERUNG (MR%)	HK
110	NiFe	---	NULL	4.80%	40-45%	5
120	NiFeCo	---	NULL	3.76%	40-50%	20-22
130	CoFeB	325-350° C	NULL	2.74%	42-50%	19-24
140	CoFeTa	>350° C	$> 5 \times 10^{-6}$	6.69%	40-50%	38
150	CoFeHf	>350° C	$> 5 \times 10^{-6}$	5.15%	40-50%	48
160	CoFeNb	300° C	$> 5 \times 10^{-6}$	---	40-50%	31
170	CoFeC	~175° C	NULL	---	---	---
180	CoFeTaC	~350° C	$> 1 \times 10^{-6}$	6.90%	---	36

FIG. 1 100



**FIG. 2** 200



**FIG. 3** 300