



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 13 636 T2** 2007.08.30

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 547 102 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01F 10/32** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 13 636.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/23063**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 816 719.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/107370**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.07.2003**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **09.12.2004**

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

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **02.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.08.2007**

(30) Unionspriorität:
232111 30.08.2002 US

(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**

(73) Patentinhaber:
Freescale Semiconductor, Inc., Austin, Tex., US

(72) Erfinder:
**SLAUGHTER, Jon M., Tempe, AZ 85284, US;
DAVE, Renu W., Chandler, AZ 85296, US; SUN,
Jijun, Chandler, AZ 85249, US**

(74) Vertreter:
**SCHUMACHER & WILLSAU,
Patentanwaltssozietät, 80335 München**

(54) Bezeichnung: **NANOKRISTALLINE SCHICHTEN UND VERBESSERTE MRAM-TUNNELSPERRSCHICHTEN**

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

Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein die Magnetoelektronik und insbesondere eine Materialzusammensetzung und Fertigungstechniken für magnetoelektronische Elemente.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Magnetoelektronik, Spinelektronik und Spintronik sind synonyme Bezeichnungen für die Nutzung der vorwiegend durch den Elektronenspin verursachten Effekte. Die Magnetoelektronik wird für zahlreiche Informationsvorrichtungen genutzt und bietet eine nicht flüchtige, zuverlässige, strahlungsresistente und hoch dichte Datenspeicherung und -abfrage. Die zahlreichen magnetoelektronischen Informationsvorrichtungen umfassen magnetische Direktzugriffsspeicher (MRAM), magnetische Sensoren und Leseköpfe für Plattenlaufwerke, sind aber nicht auf diese beschränkt.

[0003] Typischer Weise weist eine magnetoelektronische Vorrichtung, wie ein magnetisches Speicherelement, einen Aufbau auf, der mehrere, durch mindestens eine nicht magnetische Schicht getrennte ferromagnetische Schichten umfasst. Informationen werden als Richtungen von Magnetisierungsvektoren in den magnetischen Schichten gespeichert. Die magnetischen Vektoren in einer Magnetschicht sind beispielsweise magnetisch fest bzw. festgelegt, während die Magnetisierungsrichtung der anderen Magnetschicht zwischen der gleichen und der entgegengesetzten Richtung umgeschaltet werden kann, was jeweils als „paralleler“ und „antiparalleler“ Zustand bezeichnet wird. Als Reaktion auf den parallelen und den antiparallelen Zustand repräsentiert das Magnetspeicherelement zwei verschiedene Widerstände. Der Widerstand weist jeweils einen minimalen und einen maximalen Wert auf, wenn die Magnetisierungsvektoren der beiden magnetischen Schichten im Wesentlichen in die gleichen bzw. in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Dementsprechend ermöglicht eine Erfassung der Veränderung des Widerstands einer Vorrichtung, wie einer MRAM-Vorrichtung, den Abruf von auf dem Magnetspeicherelement gespeicherten Informationen. Die Differenz zwischen dem minimalen und dem maximalen Widerstandswert dividiert durch den minimalen Widerstand ist als Magnetowiderstandsverhältnis (MR) bekannt.

[0004] Der physische Aufbau der magnetischen Elemente umfasst typischer Weise sehr dünne Schichten, von denen einige wenige zehn Angström ($1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$) oder weniger dick sind. Die Leistung des magnetischen Elements ist auf die Bedingungen auf der Oberfläche empfindlich, auf die die Magnetschichten aufgebracht sind. Dementsprechend ist es

allgemein wünschenswert, eine Oberfläche herzustellen, die so flach wie möglich ist, um eine Verschlechterung der Betriebseigenschaften eines magnetischen Elements zu verhindern.

[0005] Bei der Herstellung eines typischen magnetischen Elements, wie bei der Herstellung eines MRAM-Elements, das durch Sputterabscheidung, Aufdampfen oder Epitaxietechniken gezüchtete Metallfilme aufweist, sind die Filmoberflächen nicht vollkommen flach, sondern tendieren statt dessen dazu, raue Oberflächen bzw. Grenzflächen aufzuweisen. Die Rauigkeit der Oberflächen und/oder Grenzflächen der ferromagnetischen Schichten ist die Ursache für eine magnetische Kopplung zwischen der freien magnetischen Schicht und den anderen ferromagnetischen Schichten, wie der festen bzw. festgelegten Schicht, die als „topologische Kopplung“ oder „Néel'sche Orangenschalenkopplung“ bekannt ist. Eine derartige Kopplung bei magnetischen Elementen ist im Allgemeinen unerwünscht, da sie eine Verzögerung im Ansprechverhalten der freien Schicht auf ein externes Magnetfeld erzeugen kann.

[0006] Die Rauigkeit kann auch unerwünschte Auswirkungen auf die elektrischen Eigenschaften der Vorrichtung haben, indem sie die Qualität der Grenzflächen zwischen den magnetischen Schichten und der nicht magnetischen Zwischenschicht beeinträchtigt. Bei einer typischen Tunnelübergangsanwendung kann eine derartige Rauigkeit auch zu Schwankungen der Dicke der Zwischenschicht und dementsprechend zu Schwankungen des resultierenden Tunnelstroms führen.

[0007] Eine magnetische Struktur wird als „unten festgelegt“ bezeichnet, wenn die feste Schicht vor der Zwischenschicht und die freie Schicht nach der Zwischenschicht erzeugt werden. Bei einer derartigen unten festgelegten Struktur ist die antiferromagnetische Pinning- bzw. Festlegungsschicht (AF-Festlegungsschicht) in der unteren magnetischen Elektrode enthalten. Bei herkömmlichen unten festgelegten magnetischen Tunnelübergängen (MTJs) und Spinventilstrukturen werden typischer Weise Keim- und Templatschichten zur Erzeugung einer ausgerichteten kristallinen AF-Schicht zum starken Festlegen verwendet. Die untere Elektrode einer typischen unten festgelegten MTJ-Struktur umfasst aufeinander gestapelte Schichten aus Ta/NiFe/FeMn/NiFe, auf die eine AlOx-Tunnelbarriere und eine obere Elektrode folgen, die dann typischer Weise eine freie Schicht aus NiFe umfasst, wobei die Ta/NiFe-Keim-/Templatschichten das Wachstum großer und stark ausgerichteter FeMn-Kristalliten in der FeMn-Schicht und der festgelegten Magnetschicht induzieren. Derartig hoch ausgerichtete polykristalline Schichten können auch als „stark strukturiert“ beschrieben werden. Die stark strukturierte FeMn-Schicht sorgt für eine starke Festlegung der

NiFe-Schicht unter der AlO_x-Tunnelbarriere. Die FeMn-Schicht bzw. eine andere ausgerichtete polykristalline AF-Schicht erzeugt typischer Weise eine Rauigkeit, die eine Zunahme der unerwünschten Neel-Kopplung zwischen der festgelegten NiFe-Schicht und der oberen, freien NiFe-Schicht sowie Schwankungen des Tunnelstroms verursacht.

[0008] Bei praktischen MTJ-Elementen ist die untere Elektrode im Allgemeinen auf einer Basismetallschicht ausgebildet, die dem Übergang einen Kontakt mit verhältnismäßig geringem Widerstand bietet. Die Basismetallschicht ist typischer Weise polykristallin und tendiert zu einem Wachstum in Stabform. Dadurch kann eine Rauigkeit entstehen, die sich wiederum in die untere Elektrode fortsetzt und eine Rauigkeit an den Grenzflächen der Zwischenschicht erzeugt, was zu einer Zunahme unerwünschter magnetischer und elektrischer Eigenschaften führt. Die Rauigkeit, die sich von der Basismetallschicht und der unteren Elektrode fortpflanzt, ist zusätzlich nachteilig, da sie die minimale Dicke der Tunnelbarriere begrenzt, die bei Aufrechterhaltung eines hohen Magnetowiderstands und eines hohen Widerstands der Vorrichtung erzielt werden kann, dessen Maßstab sich umgekehrt zum Übergangsbereich verändert.

[0009] Zur Verringerung der Rauigkeit der Schichten und der Übergangflächen der Schichten wurden verschiedene Arten von nicht kristallinen oder amorphen Materialien zur Verwendung in den verschiedenen Schichten des MTJ-Stapels entwickelt. Da es den nicht kristallinen bzw. amorphen Materialien an den Kristallgrenzen und den scharfen Eigenschaften anderer Materialien fehlt, kann die Tunnelbarriere, die aus den Schichten mit den amorphen Materialien resultiert, für eine bessere Leistung der Vorrichtung sorgen. Während die Verwendung amorpher Materialien wünschenswert sein kann, begrenzt diese Anforderung die Wahl der Legierungen für die magnetischen Schichten dramatisch auf die wenigen, die amorph sind. Zudem tendiert eine auf einer kristallinen Festlegungsschicht ausgebildete dünne Schicht aus einem amorphen magnetischen Material dazu, zumindest einiges der Oberflächenrauigkeit der darunter liegenden Oberfläche zu replizieren. Dies führt zu einem herabgesetzten Wert für die Schicht aus amorphem Material. In der EP 1 094 329 sind eine Vorrichtung und ein Fertigungsverfahren für ein magnetisches Element und insbesondere für ein magnetisches Element mit einer ersten Elektrode, einer zweiten Elektrode und einer Zwischenschicht beschrieben. Dementsprechend ist es wünschenswert, Materialien und Verfahren zur konsistenten Erzeugung glatter Schichtgrenzflächen in MTJ-Stapeln zu schaffen, um dadurch die Leistung der so gefertigten magnetischen Elemente zu verbessern. Überdies gehen weitere wünschenswerte Merkmale und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung aus der nachfol-

genden Beschreibung und den beiliegenden Ansprüchen im Zusammenhang mit den beiliegenden Zeichnungen hervor.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] Die folgende genaue Beschreibung der Zeichnungen ist lediglich beispielhafter Natur und soll die Erfindung bzw. die Anwendung und die Einsatzbereiche der Erfindung nicht einschränken. Überdies besteht nicht die Absicht, sich durch eine der hier vorgetragenen Theorien binden zu lassen.

[0011] Die vorliegende Erfindung wird nachstehend im Zusammenhang mit den beiliegenden Figuren beschrieben, in denen übereinstimmende Bezugszeichen übereinstimmende Elemente bezeichnen. Es zeigen:

[0012] [Fig. 1](#) eine Schnittansicht eines magnetischen Elements mit einem verbesserten magnetischen Ansprechverhalten gemäß einer bevorzugten exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0013] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung der Röntgenstrahlendiffraktionsspektren eines herkömmlichen polykristallinen Materials; und

[0014] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung der Röntgenstrahlendiffraktionsspektren eines nanokristallinen Materials gemäß einer bevorzugten exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Genaue Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Die folgende genaue Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform ist lediglich beispielhafter Natur und soll die Erfindung bzw. die Anwendungen und Einsatzbereiche der Erfindung nicht einschränken. Überdies besteht nicht die Absicht, sich durch eine der im vorstehenden Hintergrund der Erfindung bzw. in der nachstehenden genauen Beschreibung einer bevorzugten exemplarischen Ausführungsform präsentierten Theorien binden zu lassen.

[0016] Bei den verschiedenen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird eine nanokristalline antiferromagnetische Schicht verwendet. Für die Zwecke der folgenden Besprechung der verschiedenen bevorzugten Ausführungsformen ist mit nanokristallin ein polykristallines Material mit einer durchschnittlichen Kristallitgröße von vorzugsweise weniger als 10 Nanometer (100 Å) mit wenig oder keiner bevorzugten Ausrichtung oder Struktur gemeint. Dieses nanokristalline Gefüge wird durch eine geeignete Auswahl einer Keimschicht und einer Templateschicht gezüchtet, wie später unter Bezug-

nahme auf [Fig. 1](#) beschrieben. Die nanokristalline antiferromagnetische Schicht erzeugt eine wünschenswertere Oberflächenrauigkeit als eine herkömmliche strukturierte polykristalline Schicht. Ferner kann die nanokristalline antiferromagnetische Schicht zum Einimpfen eines ähnlichen nanokristallinen Gefüges in die auf sie aufgetragenen Schichten verwendet werden, was zu wünschenswerteren Grenzflächenrauigkeitsmerkmalen bei diesen Schichten führt. Bei den verschiedenen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung führt die verbesserte Grenzfläche zu verbesserten magnetischen und elektrischen Eigenschaften.

[0017] In [Fig. 1](#) ist ein zur Verwendung mit einer bevorzugten exemplarischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geeignetes magnetisches Element **100** gezeigt. Der Aufbau des magnetischen Elements **100** umfasst ein Substrat **112**, einen ersten mehrschichtigen Elektrodenstapel **114**, eine Zwischenschicht **116**, die oxidiertes Aluminium enthält, und einen zweiten mehrschichtigen Elektrodenstapel **118**. Es ist festzuhalten, dass die Materialzusammensetzung der Zwischenschicht **116** vom Typ des hergestellten magnetischen Elements abhängt.

[0018] Genauer ist die Zwischenschicht **116** bei einer typischen MTJ-Struktur aus einem dielektrischen Material und bei einer Spinventilstruktur aus einem leitfähigen Material ausgebildet. Der erste mehrschichtige Elektrodenstapel **114** und der zweite mehrschichtige Elektrodenstapel **118** umfassen eine oder mehr ferromagnetische Schichten. Der erste mehrschichtige Elektrodenstapel **114** ist auf einer Basismetallschicht **113** ausgebildet, die auf einem Substrat **112** ausgebildet ist. Die Basismetallschicht **113** kann aus einem einzigen Metallmaterial bzw. einer Metallschicht oder einem Stapel aus mehr als einem Metallmaterial bzw. einer Metallschicht zusammengesetzt sein.

[0019] Der erste mehrschichtige Elektrodenstapel **114** umfasst eine auf die Basismetallschicht **113** aufgetragene Keimschicht **120**, eine Templatschicht **122**, eine Schicht **124** aus antiferromagnetischem Festlegungsmaterial (AF-Festlegungsmaterial), eine festgelegte ferromagnetische Schicht **125**, die auf der darunter liegenden AF-Festlegungsschicht **124** ausgebildet und mit dieser austauschgekoppelt ist, eine auf der festgelegten Schicht **125** ausgebildete antiferromagnetische Kopplungsschicht **123** und eine auf die Kopplungsschicht **123** aufgetragene und über die Kopplungsschicht **123** antiferromagnetisch mit der festgelegten Schicht gekoppelte feste ferromagnetische Schicht **126**. Die ferromagnetischen Schichten **125** und **126** sind als fest bzw. festgelegt beschrieben, weil bei diesen Schichten eine Drehung magnetischen Moments beim Vorhandensein eines extern angelegten Magnetfelds verhindert wird.

[0020] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Keimschicht **120** aus Tantalnitrid (TaN_x) ausgebildet und wird durch einen Plasma- oder Ionenstrahl-Nitridierungsprozess mit einer verhältnismäßig dünnen Schicht von vorzugsweise weniger als ca. 10 nm (100 Å) und noch bevorzugter weniger als ca. 5 nm (50 Å) aus Tantal (Ta) erzeugt. Bei dieser Ausführungsform wird dann die Templatschicht **122**, die vorzugsweise aus einer Nickel-Eisen-Legierung (NiFe-Legierung), einer Nickel-Eisen-Kobalt-Legierung (NiFeCo-Legierung), Ruthenium (Ru) oder Tantal (Ta) besteht, auf die Keimschicht **120** aus Tantalnitrid (TaN_x) aufgebracht. Zusätzlich kann bei bestimmten bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung durch den hier beschriebenen Nitridierungsprozess erzeugtes Tantalnitrid (TaN_x) zum Züchten der gewünschten antiferromagnetischen Schicht verwendet werden, ohne dass eine separate Templatschicht **122** erforderlich wäre.

[0021] Diese Kombination geschichteter Materialien verbindet sich, wodurch eine hoch ungeordnete Keimschicht zur Erzeugung nachfolgender Schichten des magnetischen Elements **100** erzeugt wird. Es wird darauf hingewiesen, dass die Templatschicht **122** vorzugsweise nanokristalliner Natur und nicht amorph ist. Ähnlich können die Schichten über der Templatschicht **122**, wie die AF-Festlegungsschicht **124**, die festgelegte Schicht **125**, die Kopplungsschicht **123** und die feste Schicht **126**, nanokristalliner Natur sein.

[0022] Bei einer alternativen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Keimschicht **120** und die Templatschicht **122** durch Aufbringen einer Schicht aus Ruthenium (Ru) auf eine Schicht aus Aluminium (Al) gebildet. Diese Kombination verbindet sich, wie die vorstehend offenbarte, oben beschriebene TaN_x -Schicht, so, dass eine hoch ungeordnete Keimschicht zur Bildung der nachfolgenden Schichten des magnetischen Elements **100** erzeugt wird. Bei dieser speziellen Ausführungsform bestehen eine typische Keimschicht **120** und eine typische Templatschicht **122** aus 2 nm (20 Å) Al und 1,7 nm (17 Å) Ru. Obwohl sich Al und Ru verbinden, um eine Legierung zu bilden, wird darauf hingewiesen, dass sie in unterschiedlichen Prozessschritten getrennt aufgebracht werden. Das Kristallgefüge der resultierenden Legierung ist hoch ungeordnet und relativ zufälliger Natur. Die Ru-Schicht ist vorzugsweise weniger als ca. 10 nm (100 Å) und noch bevorzugter weniger als ca. 5 nm (50 Å) dick. Zusätzlich zu Ru können andere Übergangsmetallelemente mit der Al-Schicht **120** kombiniert werden, wodurch ähnliche Ergebnisse erzielt werden.

[0023] Unabhängig von den spezifischen, zur Herstellung der Keimschicht **120** und der Templatschicht **122** verwendeten Materialien schafft die Kombination aus Keimschicht **120** und Templatschicht **122** die Ba-

sis für die AF-Festlegungsschicht **124**. Wie vorstehend besprochen wird jedes Material und jeder Prozess, die ein hoch ungeordnetes Keim/Templat zum Auslösen des Wachstums einer nanokristallinen AF-Festlegungsschicht **124** bilden, als im Rahmen der vorliegenden Erfindung enthalten betrachtet. Nach der Bildung der Keimschicht **120** und der Templatschicht **122** wird die AF-Festlegungsschicht **124** aus einer Manganlegierung mit der allgemeinen Zusammensetzung MnX hergestellt, wobei X vorzugsweise eines der Elemente Platin (Pt), Palladium (Pd), Nickel (Ni), Iridium (Ir), Osmium (Os), Ruthenium (Ru) oder Eisen (Fe) ist.

[0024] Die bevorzugtesten Ausführungsformen der AF-Festlegungsschicht **124** umfassen Manganlegierungen, bei denen X im Bereich von 35–55 % und am bevorzugtesten im Bereich von 40–50 % liegt und eines der Elemente Pt, Pd oder Ni ist. Weitere bevorzugte Ausführungsformen umfassen Manganlegierungen, bei denen X im Bereich von 5 – 35 % und am bevorzugtesten im Bereich von 10–30 % liegt und vorzugsweise eines der Elemente Ir, Rh, Os, Ru oder Fe ist. Durch die Erzeugung einer AF-Festlegungsschicht **124**, wie hierin beschrieben, kann eine nanokristalline ferromagnetische Schicht **125** realisiert werden. Eine ungeordnete Templatschicht **122** impft die AF-Festlegungsschicht **124**, so dass ein nanokristallines Kristallgefüge wächst, das aus in etwa zufällig ausgerichteten Kristalliten mit einer durchschnittlichen Größe von weniger als 10 Nanometern zusammengesetzt ist.

[0025] Bei den bevorzugtesten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind die ferromagnetischen Schichten **125** und **126** durch eine AF-Kopplungsschicht **123** getrennt. Die AF-Kopplungsschicht **123** ist vorzugsweise aus Ruthenium zusammengesetzt und erzeugt in Kombination mit den ferromagnetischen Schichten **125** und **126** eine festgelegte synthetische antiferromagnetische Schicht (eine festgelegte SAF-Schicht). Die durch die AF-Kopplungsschicht **123** geschaffene antiferromagnetische Kopplung macht das magnetische Element **100** bei angelegten Magnetfeldern stabiler. Zudem kann die magnetostatische Kopplung durch Variieren der Dicke der ferromagnetischen Schichten **125** und **126** versetzt werden, und die die Hystereseschleife der freien Schicht kann zentriert werden. Obwohl Ru das bevorzugteste Material für die AF-Kopplungsschicht **123** ist, können andere nicht magnetische Materialien, wie Rh, die gewünschte AF-Kopplung zwischen den ferromagnetischen Schichten **125** und **126** herstellen und für die AF-Kopplungsschicht **123** verwendet werden. Die nanokristalline Struktur der AF-Festlegungsschicht **124** kann ferner das Wachstum der über ihr liegenden Schichten auf zufällige Weise einimpfen, was dazu führt, dass die festgelegte SAF-Struktur ein nanokristallines Gefüge aufweist. Dies bietet dadurch einen zusätzlichen Vorteil, dass die nanokristalline

Struktur auf die Übergangsfläche zur Zwischenschicht **116** erweitert wird, wodurch eine Zunahme der Rauigkeit verhindert wird, die anderenfalls auftreten würde, wenn größere Kristalliten in der festgelegten SAF-Struktur wachsen würden.

[0026] Der zweite Elektrodenstapel **118** umfasst eine freie ferromagnetische Schicht **128** und eine schützende Kontaktschicht **130**. Das magnetische Moment der freien ferromagnetischen Schicht **128** ist nicht durch eine Austauschkopplung fest bzw. festgelegt und kann sich daher beim Vorhandensein eines angelegten Magnetfelds frei drehen. Obwohl sie in [Fig. 1](#) als einzelne Schicht dargestellt ist, kann die freie ferromagnetische Schicht **128** bei einigen Anwendungen statt als einzelne ferromagnetische Schicht als mehrschichtiger Stapel gefertigt werden.

[0027] Bei den bevorzugtesten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden die verschiedenen nanokristallinen Schichten in dem ersten mehrschichtigen Elektrodenstapel **114** statt durch Impfen mit einem amorphen Material am bevorzugtesten durch Impfen der verschiedenen Schichten mit einer kristallographisch ungeordneten Schicht realisiert. Die kleinen, relativ zufälligen und ungeordneten Körner der Keimschicht **120** und oder der Templatschicht **122** lösen das Wachstum unterschiedlicher, konkurrierender Ausrichtungen in verhältnismäßig großer Nähe zueinander aus. Die konkurrierenden Ausrichtungen „frustrieren“ den typischen polykristallinen Schichtbildungsprozess in der AF-Festlegungsschicht **124**, wodurch sie kristallographisch ungeordnet und typischer Weise zufällig ausgerichtet und von nanokristalliner Ausprägung ist.

[0028] Durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung einer Keimschicht **120** und/oder einer Templatschicht **122** zeigen sich in den nachfolgenden Schichten des ersten mehrschichtigen Elektrodenstapels **114** und des zweiten mehrschichtigen Elektrodenstapels **118** glattere Grenzflächen. Die Grenzflächen sind glatter, als dies bei einem herkömmlich gewachsenen Material mit einer starken kristallinen Ordnung und gut definierter Kristallstruktur der Fall wäre. Die glatteren Grenzflächen führen zu einer verbesserten Leistung des so hergestellten magnetischen Elements.

[0029] Es wird darauf hingewiesen, dass durch diese Offenbarung auch eine umgekehrte oder umgedrehte Struktur vorweggenommen wird. Genauer wird vorweggenommen, dass das offenbarte magnetische Element so gefertigt werden kann, dass es eine obere bzw. festgelegte Schicht aufweist und daher als „oben festgelegte“ Struktur beschrieben werden kann. Bei einer oben festgelegten Struktur würde die freie Schicht auf der ungeordneten Keim- und/oder Templatschicht gezüchtet. Die nanokristalline Struktur kann sich abhängig von den spezifischen,

bei der Herstellung des Stapels verwendeten Materialien bis zur freien Schicht oder durch die AF-Festlegungsschicht nach oben erstrecken.

[0030] In den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) ist eine vergleichende Röntgenstrahlendiffraktionsansicht von zwei ähnlichen, mehrschichtigen Strukturen gezeigt. Die beiden mehrschichtigen Strukturen stimmen im Wesentlichen überein, mit der entscheidenden Ausnahme der bei den beiden unterschiedlichen Strukturen auf der Keimschicht ausgebildeten Templatschicht. Gemäß [Fig. 2](#) ist die Templatschicht unter Verwendung einer ziemlich typischen Nickelisenlegierung (Ni-Fe-Legierung) gefertigt. Gemäß [Fig. 3](#) ist die Templatschicht unter Verwendung der erfindungsgemäßen nanokristallinen Aluminium-Ruthenium-Legierung (AlRu-Legierung) gefertigt, wie im Zusammenhang mit [Fig. 1](#) beschrieben. Sowohl [Fig. 2](#) als auch [Fig. 3](#) zeigen die Spitze für die von der Platin-Mangan-Festlegungsschicht (PtMn-Festlegungsschicht) gezeigte, stirnseitenzentrierte, tetragonale (111) Kristallebene.

[0031] Gemäß [Fig. 2](#) sind die Diffraktionsspektren **200** die Röntgenstrahlendiffraktion für eine Struktur, die ein Silicium-Siliciumoxid-Substrat (ein Si-SiO₂-Substrat), eine Basismetallschicht aus 5 nm (50 Å) Ta, 20 nm (200 Å) Al und 5 nm (50 Å) Ta, eine Keimschicht aus 5 nm (50 Å) Ta, eine Templatschicht aus 2 nm (20 Å) NiFe, eine AF-Schicht aus 30 nm (300 Å) PtMn und eine Schutzabdeckung aus 5 nm (50 Å) Ta und 5 nm (50 Å) Al umfasst. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, zeigt die über der NiFe-Templatschicht gezüchtete PtMn-Schicht Eigenschaften, die für herkömmliche strukturierte polykristalline Materialien ziemlich typisch sind. Insbesondere zeigen die relativ starken Spitzen (111) die relativ große Größe der Kristallite, die eine Übersetzung in eine relativ rauere Grenzfläche zur Folge haben.

[0032] Gemäß [Fig. 3](#) sind die Diffraktionsspektren **200** die Röntgenstrahlendiffraktion für eine Struktur, die ein Si-SiO₂-Substrat, eine Basismetallschicht aus 5 nm (50 Å) Ta, 20 nm (200 Å) Al und 5 nm (50 Å) Ta, eine Keimschicht aus 5 nm (50 Å) Ta, eine Templatschicht aus 2 nm (20 Å) Al und 1,7 nm (17 Å) Ru, eine AF-Schicht aus 30 nm (300 Å) PtMn und eine Schutzabdeckung aus 5 nm (50 Å) Ta und 5 nm (50 Å) Al umfasst. Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, hat die ungeordnete Natur der Templatschicht eine nanokristalline PtMn-Schicht erzeugt. Genauer zeigen die relativ schwachen Spitzen (111) die verhältnismäßig geringe Größe der Kristallite in der Festlegungsschicht, die in eine relativ glattere Grenzfläche übersetzt werden.

[0033] Aus der vorstehenden Beschreibung ist zu ersehen, dass die Verwendung der hier offenbarten speziellen geschichteten Materialien und Verfahren erhebliche Vorteile bietet, die für Fachleute offensichtlich sind. Obwohl in den vorstehenden Beschrei-

bungen zahlreiche Ausführungsformen präsentiert wurden, ist überdies zu beachten, dass unzählige Variationen der Ausführungsformen existieren. Zuletzt ist festzuhalten, dass die Ausführungsformen nur bevorzugte, exemplarische Ausführungsformen sind, die den Rahmen, die Anwendbarkeit und die Konfiguration der Erfindung in keiner Weise einschränken sollen. Statt dessen liefern die vorstehenden, detaillierten Beschreibungen Fachleuten eine zweckmäßige Anleitung zur Implementierung der bevorzugten, exemplarischen Ausführungsformen der Erfindung. Selbstverständlich können zahlreiche Änderungen an der Funktion und Anordnung der im Zusammenhang mit den bevorzugten, exemplarischen Ausführungsformen beschriebenen Elemente vorgenommen werden, ohne von dem in den beiliegenden Ansprüchen dargelegten Rahmen der Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Magnetisches Element mit einer Keimschicht; einer über der Keimschicht ausgebildeten Templatschicht; einer über der Templatschicht ausgebildeten antiferromagnetischen Festlegungsschicht; **dadurch gekennzeichnet**, dass die Keimschicht kristallographisch ungeordnet ist und die Templatschicht und die antiferromagnetische Festlegungsschicht nanokristallin sind.
2. Magnetisches Element nach Anspruch 1, das ferner eine über der Festlegungsschicht ausgebildete erste nanokristalline ferromagnetische Schicht umfasst.
3. Magnetisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Keimschicht eine Tantalnitridschicht aufweist.
4. Magnetisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Keimschicht eine Aluminiumschicht und die Templatschicht ein über der Aluminiumschicht angeordnetes Übergangsmetall umfasst.
5. Magnetisches Element nach Anspruch 4, bei dem das Übergangsmetall entweder Ruthenium oder Rhodium ist.
6. Magnetisches Element nach Anspruch 4, bei dem das Übergangsmetall entweder eine Rutheniumlegierung oder eine Rhodiumlegierung ist.
7. Magnetisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Keimschicht weniger als 10 Nanometer (100 Angström) dick ist.
8. Magnetisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Keimschicht weniger als 5 Nanometer (50

Angström) dick ist.

9. Magnetisches Element nach Anspruch 4, bei dem die Templatschicht eine Nickeleisentemplatschicht (eine NiFe-Templatschicht) umfasst.

10. Magnetisches Element nach Anspruch 5, bei dem die Templatschicht eine Rutheniumtemplatschicht umfasst.

11. Magnetisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Festlegungsschicht eine Manganlegierung umfasst.

12. Magnetisches Element nach Anspruch 11, bei dem die Manganlegierung entweder Platinmangan (PtMn), Palladiummangan (PdMn), Platinpalladiummangan (PtPdMn), Iridiummangan (IrNm), Eisenmangan (FeMn) oder Rhodiummangan (RhMn) ist.

13. Magnetisches Element nach Anspruch 1, das ferner umfasst
eine unter der Keimschicht ausgebildete Basismetallschicht; und
ein unter der Basismetallschicht ausgebildetes Substrat.

14. Magnetisches Element nach Anspruch 2, das ferner umfasst:
eine über der ersten nanokristallinen ferromagnetischen Schicht ausgebildete Kopplungsschicht; und
eine über der Kopplungsschicht ausgebildete zweite nanokristalline ferromagnetische Schicht, wobei die erste nanokristalline ferromagnetische Schicht, die Kopplungsschicht und die zweite nanokristalline ferromagnetische Schicht kombiniert ein synthetisches Antiferromagnetikum bilden.

15. Magnetisches Element nach Anspruch 14, bei dem die Kopplungsschicht eine Rutheniumkopplungsschicht umfasst.

16. Magnetisches Element nach Anspruch 3, das ferner umfasst:
ein Substrat;
eine auf dem Substrat ausgebildete Basismetallschicht; die über der Basismetallschicht ausgebildete, Tantalnitrid umfassende, kristallographisch ungeordnete Keimschicht;
eine über der Keimschicht ausgebildete, nanokristalline Ru-Templatschicht;
die über der Templatschicht ausgebildete, nanokristalline, antiferromagnetische Festlegungsschicht, die eine aus der aus PtMn, PdMn, PtPdMn, IrMn, FeMn und RhMn bestehenden Gruppe ausgewählte Legierung umfasst;
ein über der Festlegungsschicht ausgebildetes synthetisches Antiferromagnetikum, das aufweist:
eine erste nanokristalline ferromagnetische Schicht;
eine über der ersten nanokristallinen ferromagneti-

schen Schicht ausgebildete Rutheniumkopplungsschicht; und
eine über der Kopplungsschicht ausgebildete zweite nanokristalline ferromagnetische Schicht;
eine über dem synthetischen Antiferromagnetikum ausgebildete AlOx-Schicht;
eine über der AlOx-Schicht ausgebildete freie ferromagnetische Schicht; und
eine über der freien ferromagnetischen Schicht ausgebildete obere Elektrode.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

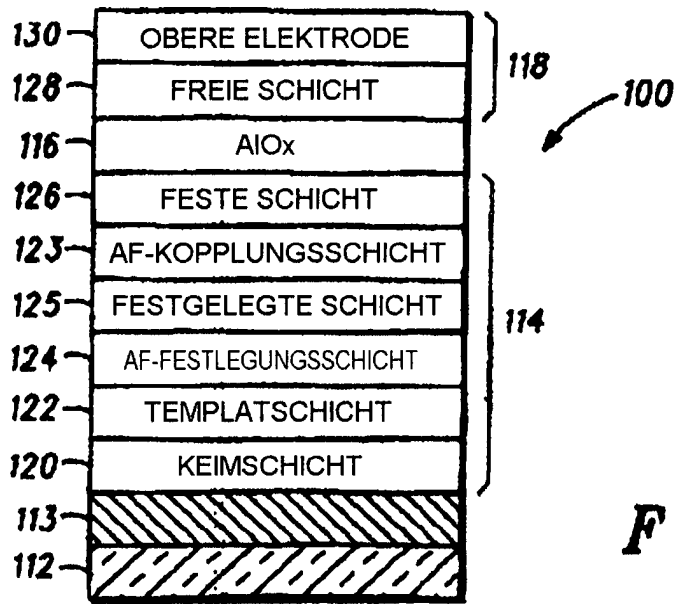


FIG. 1

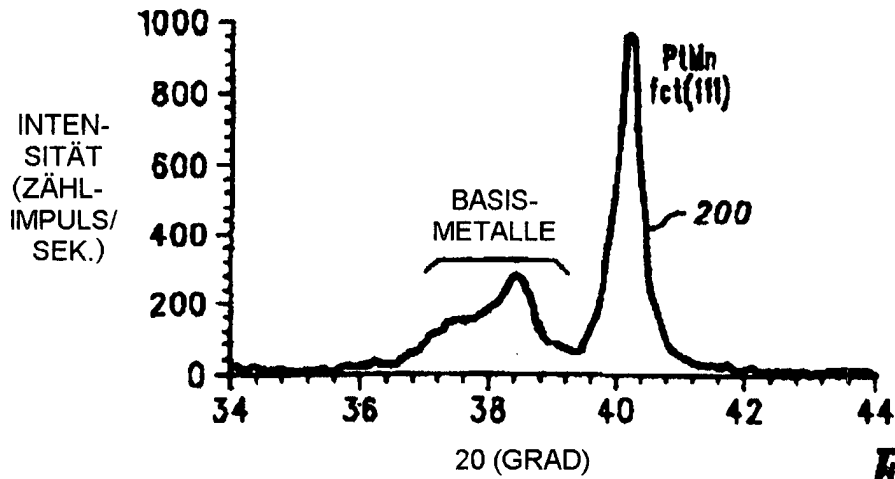


FIG. 2

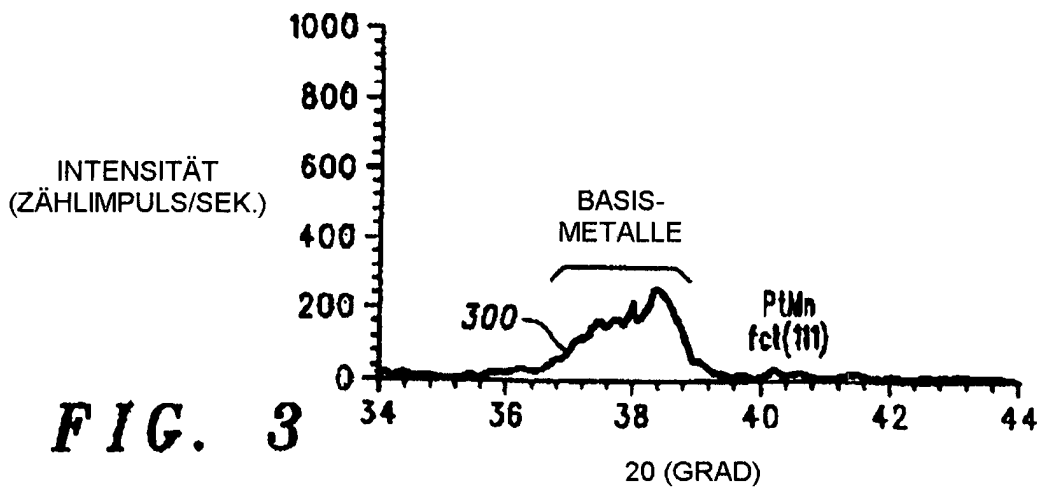


FIG. 3