(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 32 872 T2** 2007.08.30

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 933 782 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 32 872.1**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 300 618.8**
(96) Europäischer Anmeldetag: **27.01.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.08.1999**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **23.08.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.08.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***G11C 11/15*** (2006.01)
G11C 11/16 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
1563398 **28.01.1998** **JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:
Nishimura, Naoki, Ohta-ku, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
TBK-Patent, 80336 München

(54) Bezeichnung: **Magnetisches Dünnfilmelement, Speicherelement damit und Schreibe- und Leseverfahren mit einem solchen Speicherelement**

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

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein magnetisches Dünnfilmelement, das den Riesen-Magnetwiderstandseffekt (GMR-Effekt) nutzt, ein das magnetische Dünnfilmelement verwendendes Speicherelement und ein das Speicherelement verwendendes Verfahren zum Aufzeichnen und Wiedergeben.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Ein magnetischer Dünnfilmspeicher ist zwar ein Festkörperspeicher ohne ein aktives Teil wie im Fall eines Halbleiterspeichers, doch gehen bei magnetischen Dünnfilmspeichern Informationen auch bei einer Unterbrechung der Stromzufuhr nicht verloren, ist das Beschreiben für eine unbegrenzte Anzahl an Wiederholungen möglich und besteht keine Gefahr, dass der Speicherinhalt durch Strahlung verloren geht, was gegenüber dem Halbleiterspeicher vorteilhaft ist. So hat in letzter Zeit insbesondere aufgrund des stärkeren Ausgangssignals im Vergleich zu einem herkömmlichen, einen anisotropen Magnetwiderstandseffekt verwendenden Dünnfilmmagnetspeicher ein Dünnfilmmagnetspeicher Beachtung gefunden, der den Riesen-Magnetwiderstandseffekt (GMR-Effekt) nutzt.

[0003] In „Journal of the Japan Society of Applied Magnetics" (Bd. 20, 5.22, 1996) wird zum Beispiel ein Festkörperspeicher offenbart, bei dem ein Speicherelement unter mehrmaliger Abscheidung einer Struktur angefertigt wird, die eine hartmagnetische Schicht (HM), eine nichtmagnetische Schicht NM), eine weichmagnetische Schicht (SM) und eine nichtmagnetische Schicht (NM) enthält.

[0004] Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht, die den Aufbau eines solchen Festkörperspeichers zeigt. In der Zeichnung bezeichnet die Ziffer **1** eine hartmagnetische Schicht, die Ziffer **2** eine nichtmagnetische Schicht und die Ziffer **3** eine weichmagnetische Schicht. In diesem Festkörperspeicher befindet sich auf beiden Seiten des Magnetfilms eine Abfrageleitung **4** und eine durch eine Isolierschicht **6** von der Abfrageleitung **4** isolierte Wortleitung **5**. Auf die Wortleitung **5** und die Abfrageleitung **4** wird ein elektrischer Strom aufgebracht, wobei durch das erzeugte magnetische Feld Informationen geschrieben werden.

[0005] Wie speziell in den Fig. 2A bis Fig. 2B gezeigt ist, wird beim Aufbringen eines elektrischen Stroms auf die Wortleitung **5** im Ansprechen auf die mit der Ziffer **7** bezeichnete Richtung des elektrischen Stroms ein Magnetfeld unterschiedlicher Richtung erzeugt. Die Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht **1** wird durch das Magnetfeld umgekehrt, um den Speicher in den Zustand „0" oder „1" zu versetzen. In den Fig. 2A und Fig. 2C bezeichnet die horizontale Achse die Zeit T und die vertikale Achse den elektrischen Strom I. In den Fig. 2B und Fig. 2D sind die gleichen Elemente wie in Fig. 1 mit den gleichen Ziffern wie in Fig. 1 bezeichnet, wobei eine ausführliche Beschreibung weggelassen wird.

[0006] Wenn zum Beispiel, wie in Fig. 2A gezeigt ist, ein positiver Strom aufgebracht wird, um ein nach rechts gerichtetes magnetisches Feld zu erzeugen, wird der Speicher, wie in Fig. 2B gezeigt ist, in den Zustand „1" versetzt. Wenn dagegen, wie in Fig. 2C gezeigt ist, ein negativer Strom aufgebracht wird, um ein nach links gerichtetes Magnetfeld zu erzeugen, wird der Speicher, wie in Fig. 2D gezeigt ist, in den Zustand „0" versetzt.

[0007] Um Informationen auszulesen, wird auf die Wortleitung **5**, wie in den Fig. 3A bis Fig. 3E gezeigt ist, ein kleinerer elektrischer Strom **7** als der Aufzeichnungsstrom aufgebracht, so dass lediglich die Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht **3** umgekehrt wird, und wird die Änderung des Widerstands erfasst.

[0008] In Fig. 3A bezeichnet die horizontale Achse die Zeit T und die vertikale Achse den elektrischen Strom I. Außerdem sind in den Fig. 3B bis Fig. 3E die gleichen Elemente wie in Fig. 1 mit den gleichen Ziffern wie in Fig. 1 bezeichnet, wobei eine ausführliche Beschreibung weggelassen wird.

[0009] Wenn der Riesen-Magnetwiderstandseffekt genutzt wird, ändert sich der Widerstand abhängig davon, ob die Magnetisierungen der weichmagnetischen Schicht SM und der hartmagnetischen Schicht HM parallel oder antiparallel sind. Ein Speicher im Zustand „1" lässt sich also im Ansprechen auf eine Änderung des Widerstands von einem Speicher im Zustand „0" unterscheiden. Wenn ein Strom zum Beispiel, wie in Fig. 3A gezeigt ist, als ein positiver Impuls und dann als ein negativer Impuls aufgebracht wird, wechselt die Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht **3** von rechts nach links und wechselt ein kleiner Widerstand wie in Fig. 3B bezogen auf einen Speicher im Zustand „1" zu einem großen Widerstand wie in Fig. 3C. Andererseits wechselt ein großer Widerstand wie in Fig. 3D bezogen auf einen Speicher im Zustand „0" zu einem kleinen Widerstand wie in Fig. 3E. Indem wie oben beschrieben die Widerstandsänderung erfasst wird, lassen sich unabhängig vom Magnetisierungszustand der weichmagnetischen Schicht SM nach der Aufzeichnung Informationen lesen, die in der hartmagnetischen Schicht HM aufgezeichnet worden sind.

[0010] Wenn jedoch bei dem herkömmlichen mag-

netischen Dünnfilmspeicher mit dem oben beschriebenen Aufbau die Fläche der Speicherzelle abnimmt, nimmt ein in der Magnetschicht erzeugtes Demagnetisierungsfeld (selbst demagnetisierendes Feld) soweit zu, dass es nicht mehr vernachlässigbar ist, und ist die Magnetisierungsrichtung der Aufzeichnungen speichernden Magnetschicht nicht in einer Richtung fixiert, was zu Instabilität führt. Daher sind die Verfeinerung einer Bitzelle und die Informationsspeicherung im herkömmlichen magnetischen Dünnfilmspeicher zueinander inkompatibel und ist keine hohe Integration möglich.

[0011] Patent Abstracts of Japan, Bd. 1998, Nr. 10, 31. August 1998 und die JP 10134560 offenbaren ein Magnetwiderstandselement, bei dem für die erste und zweite magnetische Schicht $CoCr_2O$ verwendet wird.

[0012] Die US 5,173,873 offenbart ein magnetisches Speicherelement, das zum Beispiel Wismut, Indium-Antimonid, Nickel-Eisen-Kobalt und Permalloy oder Nickel-Eisen umfasst.

[0013] Patent Abstracts of Japan, Bd. 1997, Nr. 4 und die JP 08321916 offenbaren ein Magnetwiderstandselement mit einer unteren Magnetschicht, einer nichtmagnetischen Zwischenschicht und einer oberen Magnetschicht, wobei die obere und untere Magnetschicht senkrechte Magnetisierungen zeigen.

[0014] Die EP-A-0507451 beschreibt (**Fig.** 50) ein magnetisches Dünnfilmelement, wie es im Oberbegriff von Anspruch 1 angegeben ist.

[0015] Eine Aufgabe der Erfindung ist es, die oben beschriebenen Probleme beim Stand der Technik zumindest zu verringern und ein magnetisches Dünnfilmelement zur Verfügung zu stellen, bei dem die Instabilität der Magnetisierung auch dann verhindert werden kann, wenn das Element fein strukturiert ist.

[0016] Eine andere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Speicherelement zur Verfügung zu stellen, das Informationen mit hoher Stabilität speichert und hochgradig integriert werden kann.

[0017] Um die erste Aufgabe der Erfindung zu lösen, umfasst bei einer Ausgestaltung ein magnetisches Dünnfilmelement ein Magnetwiderstandselement mit: einer ersten Magnetschicht; einer zweiten Magnetschicht, die eine höhere Koerzitivkraft als die erste Magnetschicht hat; und einer nichtmagnetischen Schicht, die zwischen der ersten Magnetschicht und der zweiten Magnetschicht angeordnet ist, wobei die erste Magnetschicht und die zweite Magnetschicht jeweils ein Seltenerdelement und ein Übergangselement der Eisengruppe umfassen und das magnetische Dünnfilmelement dadurch gekennzeichnet ist, dass sich die erste und zweite Magnetschicht (**11**, **12**) in senkrechten Magnetisierungszuständen befinden und sich der Widerstand des Magnetwiderstandselements im senkrechten Magnetisierungszustand abhängig vom magnetischen Moment des Übergangselements der Eisengruppe der ersten Magnetschicht und des magnetischen Moments des Übergangselements der Eisengruppe der zweiten Magnetschicht ändert.

[0018] In dem magnetischen Dünnfilmelement kann die nichtmagnetische Schicht aus einem guten Leiter oder einem Isolator bestehen.

[0019] Um die zweite Aufgabe der Erfindung zu lösen, enthält bei einer anderen Ausgestaltung ein Speicherelement das oben beschriebene magnetische Dünnfilmelement und mindestens eine aus einem guten Leiter bestehende Schreibleitung, die sich mit einem Isolator dazwischen in der Nähe eines Magnetwiderstandsfilms des magnetischen Dünnfilmelements befindet.

[0020] In dem oben beschriebenen Speicherelement können sich auf den Seiten des Magnetwiderstandsfilms eine Vielzahl von Schreibleitungen befinden. In dem Speicherelement können im Ansprechen auf die Richtung des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht Informationen bewahrt werden und kann die Richtung des magnetischen Spins der zweiten Magnetschicht stets in der gleichen Richtung gehalten werden. Alternativ können die Informationen im Ansprechen auf die Richtung des magnetischen Spins der zweiten Magnetschicht bewahrt werden.

[0021] Bei noch einer weiteren Ausgestaltung enthält ein erfindungsgemäßer magnetischer Dünnfilmspeicher eine Vielzahl der oben beschriebenen Speicherelemente, die auf einem Substrat in einer Matrix angeordnet sind, wobei ein Magnetwiderstandsfilm jedes Speicherelements elektrisch mit einem Halbleiterbauelement verbunden ist, das aus einem Feldeffekttransistor oder einer Diode besteht.

[0022] Bei einer weiteren Ausgestaltung beinhaltet ein Verfahren zum Aufzeichnen mittels des Speicherelements erfindungsgemäß das Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung, das Festlegen einer Richtung des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht durch ein von dem elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld und das Ändern der Richtung eines auf die Schreibleitung aufzubringenden elektrischen Stroms, um einen Speicher in einen Zustand von „0" oder „1" zu versetzen.

[0023] Bei noch einer weiteren Ausgestaltung beinhaltet ein Verfahren zum Wiedergeben mittels des Speicherelements erfindungsgemäß das Erfassen des Widerstands des Magnetwiderstandsfilms, um Informationen wiederzugeben, die in der ersten Magnetschicht als Richtung des magnetischen Spins auf-

gezeichnet sind.

[0024] Bei einer noch weiteren Ausgestaltung beinhaltet ein Verfahren zum Aufzeichnen mittels des Speicherelements erfindungsgemäß das Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung, das Festlegen einer Richtung des magnetischen Spins der zweiten Magnetschicht durch ein von dem elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld und das Ändern der Richtung eines auf die Schreibleitung aufzubringenden elektrischen Stroms, um einen Speicher in einen Zustand von „0" oder „1" zu versetzen.

[0025] Bei einer noch weiteren Ausgestaltung beinhaltet ein Verfahren zum Wiedergeben mittels des Speicherelements erfindungsgemäß das Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung und das Nutzen einer Widerstandsänderung infolge der Umkehr des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht, die durch ein von dem elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld verursacht wird, um in der zweiten Magnetschicht aufgezeichnete Informationen wiederzugeben.

[0026] Weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen.

[0027] Es wird nun unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beispielhaft eine Anzahl von Ausführungsbeispielen der Erfindung beschrieben. Es zeigen:

[0028] Fig. 1 eine schematische Schnittansicht mit dem Aufbau eines herkömmlichen magnetischen Dünnfilmspeicherelements;

[0029] Fig. 2A bis Fig. 2D Schaubilder, die den Zustand des Aufzeichnens von Informationen in einem herkömmlichen magnetischen Dünnfilmspeicherelement veranschaulichen;

[0030] Fig. 3A bis Fig. 3E Schaubilder, die den Zustand des Wiedergebens von Informationen in einem herkömmlichen magnetischen Dünnfilmspeicherelement veranschaulichen;

[0031] Fig. 4A und Fig. 4B schematische Schnittansichten mit dem Aufbau eines magnetischen Dünnfilmelements gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0032] Fig. 5A und Fig. 5B Schaubilder, die die Magnetisierung eines magnetischen Dünnfilmelements gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulichen;

[0033] Fig. 6 eine schematische Schnittansicht mit dem Aufbau eines Speicherelements gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem das in den Fig. 4A und Fig. 4B verwendete magnetische Dünnfilmelement verwendet wird;

[0034] Fig. 7 eine schematische Schnittansicht eines anderen Aufbaus eines Speicherelements gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem das in den Fig. 4A und Fig. 4B verwendete magnetische Dünnfilmelement verwendet wird,

[0035] Fig. 8A bis Fig. 8D Schaubilder, die die Magnetisierung eines Speicherelements gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulichen;

[0036] Fig. 9 eine schematische Schnittansicht einer Speicherzelle, die ein Speicherelement gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet; und

[0037] Fig. 10 eine schematische Schnittansicht einer anderen Speicherzelle, die ein Speicherelement gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet.

[0038] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen werden nun einige exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 1

[0039] Die Fig. 4A und Fig. 4B zeigen schematische Schnittansichten mit dem Aufbau eines magnetischen Dünnfilmelements gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Ziffer **11** bezeichnet eine erste Magnetschicht, die aus einem Film mit senkrechter Magnetisierung besteht, die Ziffer **12** bezeichnet eine zweite Magnetschicht, die aus einem Film mit senkrechter Magnetisierung und mit einer bei Zimmertemperatur höheren Koerzitivkraft als die erste magnetische Schicht **11** besteht, und die Ziffer **13** bezeichnet eine nichtmagnetische Schicht. Die erste Magnetschicht **11** ist auf der zweiten Magnetschicht **12** mit der nichtmagnetischen Schicht **13** dazwischen abgeschieden. Die Pfeile bezeichnen die Magnetisierungsrichtung, insbesondere die Richtung des die Magnetisierung bildenden Spins. In Fig. 4A sind die Richtungen des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** parallel und in Fig. 4B antiparallel.

[0040] Die Materialien für die erste Magnetschicht **11** und die zweite Magnetschicht **12** schließen magnetische Materialien ein, die eine senkrechte Magnetisierung zeigen, etwa einen ferrimagnetischen Film, der eine Legierung aus einem Seltenerdelement und einem Übergangselement der Eisengruppe (SE-ÜM) ist, einen Granatfilm, der ein magnetischer Oxidfilm ist, einen Film mit künstlichem Gitter aus einem Seltenerdelement und einem Übergangselement der Ei-

sengruppe (SE/ÜM), PtCo und PdCo.

[0041] Als SE-ÜM-Material werden vorzugsweise GdFe, GdFeCo, TbFe, TbFeCo, DyFe, DyFeCo oder dergleichen verwendet, da sie leicht eine senkrechte Magnetisierung zeigen. Unter den oben genannten Magnetfilmen ist GdFe oder GdFeCo als Material für die erste Magnetschicht **11** eher zu bevorzugen, da die Koerzitivkraft gesenkt werden kann. Als Material für die zweite Magnetschicht **12** wird zwar vorzugsweise TbFe, TbFeCo, DyFe, DyFeCo oder dergleichen verwendet, da die Koerzitivkraft erhöht werden kann, doch kann in diesen Materialien der für den elektrischen Strom erforderliche Wert aufgrund der übermäßig hohen Koerzitivkraft übermäßig groß sein, wenn es zu einer Umkehr der Magnetisierung durch ein durch den elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld kommt, weswegen die Zusammensetzung unter Verwendung von GdFe, GdFeCo oder dergleichen so eingestellt wird, dass die zweite Magnetschicht **12** eine größere Koerzitivkraft als die erste Magnetschicht **11** hat.

[0042] In dem erfindungsgemäßen magnetischen Dünnfilmelement ändert sich der Widerstand abhängig davon, ob die Spinrichtungen der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** parallel oder antiparallel sind. Wenn die Spinrichtungen der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** wie in Fig. 4A gezeigt parallel sind, ist der Widerstand gering, während der Widerstand hoch ist, wenn die Spinrichtungen der ersten Magnetschicht **11** in der zweiten Magnetschicht **12** wie in Fig. 4B gezeigt antiparallel sind.

[0043] Die weitere Beschreibung erfolgt unter Bezugnahme auf die Fig. 5A und Fig. 5B, in denen ein SE-ÜM-Material verwendet wird. In den Fig. 5A und Fig. 5B sind die gleichen Elemente wie in den Fig. 4A und Fig. 4B mit den gleichen Ziffern wie in den Fig. 4A und Fig. 4B bezeichnet, wobei eine ausführliche Beschreibung weggelassen wird.

[0044] In den Fig. 5A und Fig. 5B bezeichnen die Pfeilumrisse eine Nettomagnetisierungsrichtung RM, die der Magnetisierungsdifferenz zwischen einem Seltenerdelement und einem Element der Eisengruppe entspricht, und bezeichnen die schwarzen Pfeile eine Magnetisierungsrichtung IM eines Übergangselements der Eisengruppe. Wenn der Magnetfilm ein ferrimagnetischer Film ist, der aus einem Seltenerdelement und einem Übergangselement der Eisengruppe besteht, sind die Untergittermagnetisierungen der einzelnen Elemente antiparallel. Die Magnetisierung des Seltenerdelements wird durch 4f-Elektronen verursacht. Da sich die 4f-Elektronen jedoch tief in einer Innenschale befinden, tragen sie nicht groß zur elektrischen Leitfähigkeit bei. Dagegen bildet ein Teil der 3d-Elektronen, die zur Magnetisierung des Übergangselements der Eisengruppe beitragen, Leitungselektronen, da sie sich nahe einer Außenschale befinden. Daher wird der von der Differenz der Spinrichtung abhängige Magnetwiderstand leichter durch den Spin des Übergangselements der Eisengruppe beeinflusst. Die durch den Magnetwiderstand verursachte Spinrichtung hängt dementsprechend von der Spinrichtung des Elements der Eisengruppe ab. So ist der Widerstand zum Beispiel gering, wenn das magnetische Moment des Elements der Eisengruppe der ersten Magnetschicht **11** wie in Fig. 5A gezeigt parallel zu dem der zweiten Magnetschicht **12** ist, während der Widerstand hoch ist, wenn es wie in Fig. 5B gezeigt antiparallel ist.

[0045] In den Fig. 5A und Fig. 5B ist zwar das Übergangselement der eisengruppenreichen (ÜM-reichen) Struktur gezeigt, bei der die Nettomagnetisierungen der einzelnen Magnetschichten und die Magnetisierung des Elements der Eisengruppe die gleiche Richtung haben, doch können auch andere Strukturen verwendet werden, zum Beispiel eine Struktur, bei der die erste Magnetschicht **11** reich an Seltenerdelement (SE-reich) und die zweite Magnetschicht **12** ÜM-reich ist oder umgekehrt.

[0046] Da der erfindungsgemäße magnetische Dünnfilm aus einem Film mit senkrechter Magnetisierung besteht, gibt es im Vergleich mit einem Element, das aus einem Film mit in der Ebene liegender Magnetisierung besteht, einen großen Unterschied hinsichtlich der Stabilität der Magnetisierung, wenn das Element fein strukturiert ist. Und zwar beträgt der Betrag der Sättigungsmagnetisierung bei einem Element, das aus einem bekannten Magnetwiderstandsfilm wie NiFe/Cu/Co besteht, ungefähr 800 emu/cc oder mehr und nimmt das Demagnetisierungsfeld zu, falls die Breite des Elements im Submikronbereich liegt, da die Magnetpole an den Enden des Films näher zusammenrücken, und drehen sich die Spins daher an den Filmenden und richten sich parallel zu den Enden aus. In einem Film mit senkrechter Magnetisierung ist der Betrag der Demagnetisierungsenergie dagegen kleiner als die senkrechte Magnetanisotropiekonstante, weswegen der Betrag der Sättigungsmagnetisierung auf maximal ungefähr 300 emu/cc oder weniger gedrückt wird. Falls die Breite des Elements abnimmt, rücken die Magnetpole nicht dichter an den Enden des Films zusammen und kommt es zu keinem Anstieg des Demagnetisierungsfelds. Demnach kann die Magnetisierung auch bei einer Submikronbreite ausreichend stabil gehalten werden. Wenn das Element für ein Speicherelement genutzt wird, kann daher die Integration deutlich gesteigert werden.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 2

[0047] Ein magnetisches Dünnfilmelement dieses Ausführungsbeispiels hat den in den Fig. 4A und Fig. 4B gezeigten Aufbau, wobei eine zwischen der

ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** angeordnete nichtmagnetische Schicht **13** aus einem guten Leiter besteht. Dieses Element wird im Folgenden als Spinstreuelement bezeichnet. Der gute Leiter hat vorzugsweise eine höhere Leitfähigkeit als die erste Magnetschicht **11** oder die zweite Magnetschicht **12**, wobei zum Beispiel Cu verwendet werden kann.

[0048] Da ein guter Leiter mit Cu als Hauptbestandteil eine Fermi-Energie hat, die dicht an der der Magnetschicht liegt, und eine gute Haftung zeigt, tritt, wenn sich die Magnetisierungsrichtung ändert, an der Grenzfläche leicht ein Widerstand auf, weswegen ein hohes Magnetwiderstandsverhältnis erzielt werden kann. Die nichtmagnetische Schicht **13** hat außerdem vorzugsweise eine Dicke von 5 Å bis 60 Å.

[0049] Indem zwischen der ersten Magnetschicht **11** und der nichtmagnetischen Schicht **13** oder zwischen der zweiten Magnetschicht **12** und der nichtmagnetischen Schicht **13** oder sowohl zwischen der ersten Magnetschicht **11** und der nichtmagnetischen Schicht **13** und zwischen der zweiten Magnetschicht **12** und der nichtmagnetischen Schicht **13** vorzugsweise eine Magnetschicht mit Co als Hauptbestandteil vorgesehen wird, erhöht sich das Magnetwiderstandsverhältnis, was zu einem höheren Rauschabstand führt. In diesem Fall hat die Schicht mit Co als Hauptbestandteil vorzugsweise eine Dicke von 5 Å bis 20 Å.

[0050] Die Dicke der ersten Magnetschicht **11** muss so eingestellt werden, dass sich wirksam ein Riesen-Magnetwiderstandseffekt einstellt. Zwar nimmt der Effekt aufgrund von Phononenstreuung ab, falls die Dicke der ersten Magnetschicht **11** weit über die mittlere freie Weglänge der Elektronen hinausgeht, weswegen die Dicke vorzugsweise zumindest 200 Å oder weniger und besser noch 150 Å oder weniger beträgt. Doch wenn die erste Magnetschicht **11** übermäßig dünn ist, nimmt der Widerstand der Zelle ab, was zu schwächeren Wiedergabesignalen sowie Schwierigkeiten beim Halten der Magnetisierung führt. Die Dicke der ersten Magnetschicht **11** beträgt daher vorzugsweise 20 Å oder mehr und besser noch 80 Å oder mehr.

[0051] Da die Dicke der zweiten Magnetschicht **12** so eingestellt wird, dass sich wirksam ein Riesen-Magnetwiderstandseffekt einstellt, beträgt sie wie bei der ersten Magnetschicht **11** vorzugsweise 200 Å oder weniger und besser noch 150 Å oder weniger. Wenn die Dicke jedoch übermäßig gering ist, nimmt der Widerstand der Zelle ab, was zu schwächeren Wiedergabesignalen sowie Schwierigkeiten beim Halten der Magnetisierung führt. Daher beträgt die Dicke der zweiten Magnetschicht **12** vorzugsweise 20 Å oder mehr und besser noch 80 Å oder mehr.

[0052] Um den Rauschabstand zu verbessern, kann mehrmals eine Einheit mit einer ersten Magnetschicht, einer nichtmagnetischen Schicht, einer zweiten Magnetschicht und einer nichtmagnetischen Schicht abgeschieden werden. Mit zunehmender Anzahl der abzuscheidenden Einheiten nimmt das Magnetwiderstandsverhältnis zu, was vorzuziehen ist. Wenn die Anzahl jedoch übermäßig hoch ist, nimmt die Dicke des Magnetwiderstandsfilms zu und wird ein großes Volumen an elektrischem Strom benötigt. Daher beträgt die Anzahl der abzuscheidenden Einheiten vorzugsweise 40 oder weniger und besser noch ungefähr 3 bis 20.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 3

[0053] Ein magnetisches Dünnfilmelement dieses Ausführungsbeispiels hat den in den Fig. 4A und Fig. 4B gezeigten Aufbau, wobei eine zwischen der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** angeordnete nichtmagnetische Schicht **13** aus einem Isolator besteht und deswegen ein Spintunnelfilm gebildet wird. Wenn während der Wiedergabe senkrecht zur Filmfläche ein elektrischer Strom aufgebracht wird, kommt es zu einem Tunneln von Elektronen von der ersten Magnetschicht **11** zur zweiten Magnetschicht **12**.

[0054] Da ein solches Spintunnelelement verglichen mit dem oben beschriebenen Spinstreuelement ein höheres Magnetwiderstandsverhältnis hat, können Ausgangssignale mit zufrieden stellendem Rauschabstand erzielt werden.

[0055] In dem magnetischen Spintunnel-Dünnfilmspeicherelement dieses Ausführungsbeispiels wird eine ferromagnetische Tunnelverbindung ausgebildet, die ein ferromagnetisches Material, einen Isolator und ein ferromagnetisches Material enthält. Da die Leitungselektronen der ferromagnetischen Materialien tunneln, während die Spins beibehalten werden, ändert sich die Tunnelwahrscheinlichkeit abhängig vom Magnetisierungszustand der beiden Magnetschichten, was zu einer Änderung des Tunnelwiderstands führt. Wenn die Magnetisierungen der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** parallel sind, ist der Widerstand entsprechend gering, während der Widerstand hoch ist, wenn die Magnetisierungen der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** antiparallel sind. Da die Differenz der Zustandsdichte zwischen nach oben weisenden Spins und nach unten weisenden Spins abnimmt, nimmt der Widerstand zu, was zu stärkeren Ausgangssignalen führt. Für die erste Magnetschicht **11** und die zweite Magnetschicht **12** wird somit vorzugsweise ein Magnetmaterial mit einer hohen Spinpolarisierbarkeit verwendet. Hinsichtlich der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** wird als Hauptbestandteil speziell Fe, das eine hohe Polarisierbarkeit von nach oben und unten gerichte-

ten Spins an der Fermifläche hat, und als zweiter Bestandteil Co gewählt.

[0056] Die Dicke des magnetischen Dünnfilmelements dieses Ausführungsbeispiels beträgt vorzugsweise 100 Å bis 5000 Å. Der Grund dafür ist zum einen der, dass, wenn als Isolator ein Oxid verwendet wird, der Magnetismus an der Grenzfläche zwischen der Magnetschicht und dem Oxid unter dem Einfluss des Oxids geschwächt wird, wobei der Abschnitt mit geschwächtem Magnetismus in dem Gesamtfilm dominiert, falls die Dicke gering ist, was zu einer Beeinträchtigung des Magnetismus des Films führt. Zum anderen nehmen die Volumina der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12** ab, wenn ein Speicherelement auf den Submikronbereich verfeinert wird, sodass die senkrechte magnetische Anisotropieenergie abnimmt, was zu einer Abnahme der Magnetisierungshaltefunktion der einzelnen Schichten führt. Außerdem nimmt der Widerstand der Zelle übermäßig zu, falls die Dicke übermäßig groß ist. Daher beträgt die Dicke vorzugsweise 5000 Å oder weniger und besser noch 1000 Å oder weniger.

[0057] Da das magnetische Dünnfilmelement dieses Ausführungsbeispiels den Magnetwiderstandseffekt wie oben beschrieben durch Spintunneln erreicht, muss die nichtmagnetische Schicht **13** eine Isolierschicht sein, damit die Elektronen tunneln, während die Spins gehalten werden. Die nichtmagnetische Schicht **13** kann vollständig isolieren oder nur teilweise isolieren. Ein Beispiel, bei dem als nichtmagnetische Schicht **13** eine aus einem oxidierten nichtmagnetischen Metallfilm bestehende Oxidschicht verwendet wird, schließt eine Al_2O_3-Schicht ein, die durch Oxidation eines Teils eines Al-Films in Luft oder durch Plasmaoxidation in Vakuum ausgebildet wurde. Weitere Beispiele sind Aluminiumnitrid (AlNx), Siliziumoxid (SiOx), Siliziumnitrid (SiNx) und Nickeloxid (NiOx). Es wird vorzugsweise Aluminiumoxid (AlOx) verwendet. Damit es zum Spintunneln kommt, ist außerdem eine passende Potenzialbarriere für die Energie der Leitungselektronen der ersten und der zweiten Magnetschicht erforderlich. Die oben genanten Materialien erzeugen die Barriere relativ einfach, was bei der Herstellung von Vorteil ist.

[0058] Die nichtmagnetische Schicht **13** ist vorzugsweise eine gleichmäßige Schicht mit einer Dicke von ungefähr mehreren zehn Å, wobei die Dicke ihres isolierenden Abschnitts von 5 Å bis 30 Å reicht. Wenn die Dicke weniger als 5 Å beträgt, besteht die Möglichkeit eines elektrischen Kurzschlusses zwischen der ersten Magnetschicht **11** und der zweiten Magnetschicht **12**. Wenn die Dicke mehr als 30 Å beträgt, kommt es nicht leicht zum Tunneln der Elektronen. Die Dicke beträgt besser noch 4 Å bis 25 Å und am besten 6 Å bis 18 Å.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 4

[0059] Eine der Anwendungen des erfindungsgemäßen magnetischen Dünnfilmelements ist die Anwendung als ein Speicherelement, das im Ansprechen auf die Magnetisierungsrichtung Informationen in Form von „0" oder „1" aufzeichnet und die Informationen mit. Hilfe einer Widerstandsdifferenz ausliest.

[0060] Fig. 6 ist eine schematische Schnittansicht eines Speicherelements, das das oben beschriebene magnetische Dünnfilmelement verwendet. In Fig. 6 sind die gleichen Elemente wie in den Fig. 4A und Fig. 4B mit den gleichen Ziffern wie in den Fig. 4A und Fig. 4B bezeichnet, wobei eine ausführliche Beschreibung weggelassen wird. Die Ziffer **14** stellt das in den Fig. 4A und Fig. 4B gezeigte magnetische Dünnfilmelement dar, die Ziffer **15** eine aus einem guten Leiter bestehende Schreibleitung und die Ziffer **16** ein Magnetfeld, das durch das Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung **15** erzeugt wird.

[0061] In dem Speicherelement dieses Ausführungsbeispiels wird im Ansprechen auf die Spinrichtung, d. h. nach oben oder unten, in entweder der ersten Magnetschicht **11** oder der zweiten Magnetschicht **12** eine Magnetisierungsinformation „0" oder „1" aufgezeichnet. Ob die Information in der ersten Magnetschicht **11** oder in der zweiten Magnetschicht **12** gespeichert wird, hängt vom Aufbau des Elements ab, der im Folgenden beschrieben wird. Bei dem Speicherelement dieses Ausführungsbeispiels erfolgt das Aufzeichnen durch das Anlegen eines elektrische Stroms an die Schreibleitung **15**, die in der Nähe der ersten und zweiten Magnetschicht **11** und **12** platziert ist, und eine Umkehr der Magnetisierung der ersten Magnetschicht **11** oder der zweiten Magnetschicht **12** durch das erzeugte Magnetfeld **16**. In Fig. 6 wird zwar der elektrische Strom zur Zeichnung hin angelegt, doch wird, wenn der Strom umgekehrt angelegt wird, ein umgekehrtes Magnetfeld erzeugt und kann die Richtung des Spins umgekehrt werden. Ob die Information in der ersten Magnetschicht **11** oder in der zweiten Magnetschicht **12** aufgezeichnet wird, hängt wie unten beschrieben von der Medienart ab. Zwischen der Schreibleitung **15** und dem Magnetwiderstandsfilm **14** befindet sich ein (nicht in der Zeichnung gezeigter) Isolierfilm. Der Isolierfilm soll verhindern, dass die Schreibleitung **15** und der Magnetwiderstandsfilm **14** elektrisch miteinander verbunden werden. Dadurch kann eine Verschlechterung der Wiedergabesignale durch eine Ableitung des an das magnetische Dünnfilmelement angelegten elektrischen Stroms zur Schreibleitung **15** verhindert werden.

[0062] Der Magnetwiderstandsfilm **14** zeigt einen geringen Widerstand, wenn der Spin der ersten Magnetschicht **11** und der Spin der zweiten Magnet-

schicht **12** parallel sind, und zeigt einen hohen Widerstand, wenn sie antiparallel sind. Daher lassen sich die aufgezeichneten Informationen erfassen, indem wie später beschrieben der Widerstand des Magnetwiderstandsfilms oder eine Änderung des Widerstands erfasst wird.

[0063] Die Schreibleitung **15** ist so eingestellt, dass durch Anlegen eines elektrischen Stroms senkrecht zum Magnetwiderstandsfilm **14** ein Magnetfeld erzeugt wird. Zu diesem Zweck wird die Schreibleitung **15** vorzugsweise so platziert, dass der elektrische Strom parallel zur Filmoberfläche angelegt wird. Abgesehen davon kann kein ausreichendes Magnetfeld angelegt werden, wenn der Zwischenraum zwischen der Schreibleitung **15** und dem Magnetwiderstandsfilm **14** groß ist, während es zu einem dielektrischen Durchschlag oder einem Tunnelstrom kommen kann, wenn der Zwischenraum eng ist. Demnach beträgt der Zwischenraum zumindest 10 Å bis 1 µm und vorzugsweise 50 Å bis 1000 Å.

AUSFÜHRUNGSBEILSPIEL 5

[0064] Ein magnetisches Dünnfilmspeicherelement dieses Ausführungsbeispiels hat den in Fig. 6 gezeigten Aufbau und enthält eine Speicherschicht (erste Magnetschicht **11**), eine nichtmagnetische Schicht **13** und eine gepinnte Schicht (zweite Magnetschicht **12**). In dem magnetischen Dünnfilmspeicherelement stellt die erste Magnetschicht **11** eine Speicherschicht zum Speichern magnetischer Informationen dar, während die zweite Magnetschicht **12** eine gepinnte Schicht darstellt, in der die Magnetisierung in jedem der Zustände Speichern, Aufzeichnen und Wiedergeben in einer vorbestimmten Richtung ausgerichtet ist. Unter Bezugnahme auf die Fig. 4A und Fig. 4B wird nun ein Aufzeichnungsverfahren beschrieben. Die Daten „0" und „1" werden so eingestellt, dass sie jeweils der nach oben gerichteten Magnetisierung (Fig. 4A) und der nach unten gerichteten Magnetisierung (Fig. 4B) der ersten Magnetschicht **11** entsprechen. Wie oben beschrieben wurde, wird zum Aufzeichnen die Magnetisierung der ersten Magnetschicht **11** durch ein Magnetfeld, das durch einen auf die Schreibleitung **15** aufzubringenden elektrischen Strom erzeugt wird, umgekehrt. Da auf diese Weise während der Wiedergabe der Widerstand im Zustand „0" gering und im Zustand „1" hoch ist, können die Informationen durch den Absolutwert des Widerstands erfasst werden, ohne die Magnetisierung der Magnetschicht umzukehren. Die Umkehr der Magnetisierung ist daher nicht erforderlich, um während der Wiedergabe eine Änderung des Widerstands zu erfassen, und die Wiedergabe kann rasch und mit einem geringen Stromverbrauch erfolgen.

[0065] Die Spinrichtung der zweiten Magnetschicht **12** weist zwar nach oben, doch kann sie auch nach unten weisen. Außerdem können die Daten „0" und „1" so eingestellt werden, dass sie jeweils der nach unten gerichteten Magnetisierung der ersten Magnetschicht **11** und der nach oben gerichteten Magnetisierung entsprechen.

[0066] Als Magnetisierungsmaterialien für die erste Magnetschicht **11** und die zweite Magnetschicht **12** können zwar die oben beschriebenen SE-ÜM-Materialien verwendet werden, hinsichtlich der zweiten Magnetschicht **12** als der gepinnten Schicht wird jedoch vorzugsweise TbFe, TbFeCo, DyFe, DyFeCo oder dergleichen verwendet, die eine hohe Koerzitivkraft haben. Abgesehen davon kann die Koerzitivkraft der zweiten Magnetschicht **12** erhöht werden, indem auf der zweiten Magnetschicht **12** auf der zur Grenzfläche mit der nichtmagnetischen Schicht entgegengesetzten Seite ein antiferromagnetisches Material wie FeMn, IrMn oder NiO vorgesehen wird.

[0067] Wenn die Koerzitivkraft der ersten Magnetschicht **11** zu gering ist, verschlechtern sich die Speichereigenschaften, und wenn sie zu hoch ist, erhöht sich der Aufzeichnungsstrom. Demnach beträgt die Koerzitivkraft der ersten Magnetschicht **11** vorzugsweise 5 Oe bis 50 Oe. Wenn die Koerzitivkraft der zweiten Magnetschicht **12** zu gering ist, besteht während es Aufzeichnens und Wiedergebens die Möglichkeit einer Magnetisierungsumkehr, und wenn sie zu hoch ist, fällt es schwer, eine Initialisierung durchzuführen, bei der der Spin in einer Richtung ausgerichtet wird. Demnach beträgt die Koerzitivkraft der zweiten Magnetschicht **12** vorzugsweise 20 Oe bis 20 kOe. Außerdem wird die Koerzitivkraft der ersten Magnetschicht **11** vorzugsweise ungefähr halb so hoch wie bei der zweiten Magnetschicht **12** eingestellt.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 6

[0068] Ein magnetisches Dünnfilmspeicherelement dieses Ausführungsbeispiels hat den in Fig. 6 gezeigten Aufbau und enthält eine Erfassungsschicht (erste Magnetschicht **11**), eine nichtmagnetische Schicht **13** und eine Speicherschicht (zweite Magnetschicht **12**). In dem magnetischen Dünnfilmspeicherelement stellt die zweite Magnetschicht **12** eine Speicherschicht zum Speichern von magnetischen Informationen dar, während die erste Magnetschicht **11**, die eine kleine Koerzitivkraft hat, dazu vorgesehen ist, die in der zweiten Magnetschicht **12** gespeicherten magnetischen Informationen mittels eines Magnetwiderstandseffekts zu lesen. Die Fig. 8A bis Fig. 8D veranschaulichen die Magnetisierung eines solchen magnetischen Dünnfilmspeicherelements während des Aufzeichnens und Wiedergebens. In den Fig. 8A bis Fig. 8D werden die gleichen Elemente wie in den Fig. 4A und Fig. 4B mit den gleichen Ziffern wie in den Fig. 4A und Fig. 4B bezeichnet, wobei eine ausführliche Beschreibung weggelassen wird. Die Pfeile stellen die Richtung des magneti-

schen Spins der einzelnen Magnetschichten dar.

[0069] Bei diesem Ausführungsbeispiel werden die Daten „0" und „1" so eingestellt, dass sie jeweils der nach oben gerichteten Magnetisierung der zweiten Magnetschicht (Fig. 8A) und der nach unten gerichteten Magnetisierung (Fig. 8B) entsprechen. Zum Aufzeichnen wird die Magnetisierung der zweiten Magnetschicht **12** durch ein Magnetfeld umgekehrt, das durch einen Aufzeichnungsstrom erzeugt wird.

[0070] Zum Wiedergeben wird auf eine Schreibleitung ein elektrischer Strom aufgebracht, der schwächer als der während des Aufzeichnens ist, oder wird, wie unten beschrieben wird, an nur eine von zwei Schreibleitungen ein elektrischer Strom angelegt, um ein Magnetfeld zu erzeugen, das schwächer als das während des Aufzeichnens ist, und wird nur die Magnetisierung der Erfassungsschicht umgekehrt, ohne die Magnetisierung der Speicherschicht umzukehren. Wenn zum Beispiel „0" aufgezeichnet wird, wird die Magnetisierung vom in Fig. 8A gezeigten Zustand zum in Fig. 8C gezeigten Zustand oder umgekehrt geändert. Wenn „1" aufgezeichnet wird, wird die Magnetisierung vom in Fig. 8B zum in Fig. 8D gezeigten Zustand oder umgekehrt geändert. Der Widerstand wechselt im Fall von „0" von niedrig zu hoch und im Fall von „1" von hoch zu niedrig. Die aufgezeichneten Informationen lassen sich daher durch eine Änderung des Widerstands erfassen. Bei diesem Verfahren kann verglichen mit dem Verfahren, bei dem der Absolutwert des Widerstands erfasst wird, mittels einer Differentialerfassung oder dergleichen sogar eine winzige Signaländerung erfasst werden, weswegen die Wiedergabe mit hohem Erfassungsvermögen erfolgen kann.

[0071] Darüber hinaus können die Daten „0" und „1" so eingestellt werden, dass sie jeweils der nach unten gerichteten Magnetisierung der zweiten Magnetschicht **12** und der nach oben gerichteten Magnetisierung entsprechen.

[0072] Als Magnetmaterialien für die erste Magnetschicht **11** und die zweite Magnetschicht **12** können zwar die oben beschriebenen SE-ÜM-Materialien verwendet werden, doch wird, da die Magnetisierung der beiden Schichten während des Aufzeichnens und Wiedergebens umgekehrt wird, vorzugsweise GdFe, GdFeCo oder dergleichen mit einer kleineren Koerzitivkraft verwendet.

[0073] Wenn die Koerzitivkraft der ersten Magnetschicht **11** zu gering ist, verschlechtern sich die Wiedergabesignale, und wenn sie zu hoch ist, nimmt der Erneuerungsstrom zu.

[0074] Demnach beträgt die Koerzitivkraft der ersten Magnetschicht **11** vorzugsweise 2 Oe bis 20 Oe. Wenn die Koerzitivkraft der zweiten Magnetschicht **12** zu gering ist, verschlechtern sich die Speichereigenschaften, und wenn sie zu hoch ist, nimmt der Aufzeichnungsstrom zu. Demnach beträgt die Koerzitivkraft der zweiten Magnetschicht **12** vorzugsweise 5 Oe bis 50 Oe. Außerdem wird die Koerzitivkraft der ersten Magnetschicht **11** vorzugsweise ungefähr halb so hoch wie bei der zweiten Magnetschicht **12** eingestellt.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 7

[0075] Falls zwei oder mehr Schreibleitungen in die Nähe eines Magnetwiderstandsfilms **14** platziert werden, wie in Fig. 7 gezeigt ist, addieren sich die von den einzelnen Schreibleitungen erzeugten Magnetfelder, was die Erzeugung eines stärkeren Magnetfelds erlaubt. In **Fig.** 17 bezeichnet die Ziffer **14** das in den Fig. 4A und Fig. 4B gezeigte magnetische Dünnfilmelement, bezeichnen die Ziffern **17** und **18** aus einem guten Leiter bestehende Schreibleitungen und bezeichnen die Ziffern **19** und **20** jeweils Magnetfelder, die durch das Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitungen **17** und **18** erzeugt werden.

[0076] Bei dem Aufbau, der eine Erfassungsschicht (erste Magnetschicht **11**), eine nichtmagnetische Schicht **13** und eine Speicherschicht (zweite Magnetschicht **12**) enthält, wird während der Wiedergabe ein schwächeres Magnetfeld als während des Aufzeichnens erzeugt. Indem während der Wiedergabe nur auf eine Schreibleitung ein elektrischer Strom aufgebracht wird und während des Aufzeichnens auf zwei Schreibleitungen ein elektrischer Strom aufgebracht wird, kann der Spielraum für den Strom zwischen Wiedergabe und Aufzeichnung erhöht werden, was während der Wiedergabe zu einem stabilen Betrieb ohne Aufzeichnungsfehler führt.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 8

[0077] Wenn ein Speicherchip eine Kapazität von mehreren hundert Megabyte oder mehreren Gigabyte hat, wird, um den Gesamtspeicher zu bilden, eine Vielzahl von 1 Bit-Speicherzellen, die erfindungsgemäße magnetische Dünnfilmelemente enthalten, in einer Matrix angeordnet. Da das Lesen in diesem Fall für jede Zelle unabhängig erfolgt, würde die Integration abnehmen, wenn an jeder Zelle eine Schreibleitung und ein Auswahltransistor vorgesehen wird. Deswegen wird vorzugsweise eine gemeinsame Schreibleitung für eine Vielzahl von Zellen vorgesehen.

[0078] Bei einem solchen Aufbau wird jedoch, wenn an die Schreibleitung ein elektrischer Strom angelegt wird, gleichzeitig auf eine Vielzahl von Speicherzellen ein Magnetfeld aufgebracht. Daher ist ein Aufbau erforderlich, bei dem die Magnetisierung nur einer Speicherzelle umgekehrt werden kann, beispielswei-

se indem auf die der Aufzeichnung unterliegende Speicherzelle ein elektrischer Strom aufgebracht wird. Zu diesem Zweck kann ein aktives Element wie ein Feldeffekttransistor verwendet werden, um während der Wiedergabe einen elektrischen Strom einzeln auf eine Speicherzelle aufzubringen. Somit kann ein elektrischer Strom unter vielen Speicherzellen in der Nähe der Schreibleitung gezielt auf eine Speicherzelle aufgebracht werden. Da der Weg für den elektrischen Strom der gleiche wie bei der Wiedergabe sein kann und senkrecht zu einem an die Schreibleitung angelegten elektrischen Strom verläuft, ist das von dem elektrischen Strom erzeugte Magnetfeld senkrecht zu dem von der Schreibleitung erzeugten Magnetfeld, weswegen auf die von dem aktiven Element gewählte Speicherzelle ein stärkeres resultierendes Magnetfeld aufgebracht wird als auf die anderen Speicherzellen, was zu einer Magnetisierungsumkehr führt.

[0079] Die Fig. 9 und Fig. 10 veranschaulichen solche Speicherzellen, in denen das eine Ende eines magnetischen Dünnfilmelements mit einem Transistor und das andere Ende mit einer Quellenspannung VDD verbunden ist. In Fig. 9 bezeichnet die Ziffer **21** ein magnetisches Dünnfilmelement, bezeichnen die Ziffern **22** und **23** Schreibleitungen, bezeichnet die Ziffer **24** einen Transistor und die Ziffer **25** ein Steuerungsgatter. In Fig. 10 bezeichnet die Ziffer **31** ein magnetisches Dünnfilmelement, bezeichnen die Ziffern **32** und **31** Schreibleitungen, bezeichnet die Ziffer **34** einen Transistor und die Ziffer **35** ein Steuerungsgatter. Zwar ist dies nicht in Fig. 9 oder Fig. 10 gezeigt, doch ist mit dem Ende des Magnetwiderstandsfilms **21** oder **31** eine aus einem guten Leiter bestehende Leseleitung verbunden und ist damit eine Abfrageschaltung oder dergleichen verbunden, sodass eine Änderung des Widerstands erfasst werden kann. In der Nähe der Magnetwiderstandsfilme **21** und **31** befinden sich mit einem aus SiO_2, SiNx oder dergleichen bestehenden Isolator dazwischen Schreibleitungen **22**, **23**, **32** und **33**. Die Schreibleitungen sind senkrecht zur Zeichnung platziert und werden zum Beschreiben anderer (nicht in der Zeichnung gezeigter) Speicherzellen verwendet. Der Weg für den Wiedergabestrom verläuft in Fig. 9 horizontal und in Fig. 10 senkrecht. Beim Spintunnelelement findet der in Fig. 10 gezeigte Aufbau Anwendung. Beim Spinstreuelement können beide Aufbauformen Anwendung finden, doch wird vorzugsweise der in Fig. 9 gezeigte Aufbau verwendet, bei dem der elektrische Strom horizontal aufgebracht wird, da der Absolutwert des Widerstands in dem in Fig. 10 gezeigten Aufbau, in dem der elektrische Strom senkrecht zur Filmoberfläche aufgebracht wird, abnimmt.

[0080] Was den Aufbau betrifft, der eine Erfassungsschicht (erste Magnetschicht), eine nichtmagnetischen Schicht und eine Speicherschicht (zweite Magnetschicht) enthält, kann die Magnetisierung der Erfassungsschicht umgekehrt werden, indem auf das magnetische Dünnfilmelement einer bestimmten Speicherzelle auf die gleiche Weise wie während des Aufzeichnens ein Magnetfeld aufgebracht wird. Dadurch kommt es zu einer Änderung des Widerstands, wobei die zu erfassende Änderung durch die Abfrageschaltung verstärkt wird. Auf diese Weise kann unter vielen Speicherzellen die Information in einer bestimmten Speicherzelle gelesen werden.

[0081] Was den Aufbau betrifft, der eine Speicherschicht (erste Magnetschicht), eine nichtmagnetische Schicht und eine gepinnte Schicht (zweite Magnetschicht) enthält, wird, da der Absolutwert des Widerstands erfasst wird, zur Erfassung der Widerstand des durch das aktive Element gewählten Elements durch die Abfrageschaltung verstärkt.

[0082] Darüber hinaus können das in den Ausführungsbeispielen beschriebene magnetische Dünnfilmelement und das magnetische Dünnfilmspeicherelement für einen magnetischen Sensor oder für einen Magnetkopf einer Festplatte oder dergleichen verwendet werden.

Patentansprüche

1. Magnetisches Dünnfilmelement mit einem Magnetwiderstandselement, das Folgendes umfasst:
eine erste Magnetschicht (**11**);
eine zweite Magnetschicht (**12**), die eine höhere Koerzitivkraft als die erste Magnetschicht (**11**) hat; und
eine nichtmagnetische Schicht (**13**), die zwischen der ersten Magnetschicht (**11**) und der zweiten Magnetschicht (**12**) angeordnet ist,
wobei die erste Magnetschicht (**11**) und die zweite Magnetschicht (**12**) jeweils ein Seltenerdelement und ein Übergangselement der Eisengruppe umfassen und wobei das magnetische Dünnfilmelement **dadurch gekennzeichnet** ist, dass
sich die erste und zweite Magnetschicht (**11**, **12**) in senkrechten Magnetisierungszuständen befinden und
sich der Widerstand des Magnetwiderstandselements im senkrechten Magnetisierungszustand abhängig vom magnetischen Moment des Übergangselements der Eisengruppe der ersten Magnetschicht (**11**) und des magnetischen Moments des Übergangselements der Eisengruppe der zweiten Magnetschicht (**12**) ändert.

2. Magnetisches Dünnfilmelement nach Anspruch 1, bei dem die nichtmagnetische Schicht (**13**) einen guten Leiter umfasst.

3. Magnetisches Dünnfilmelement nach Anspruch 1, bei dem die nichtmagnetische Schicht (**13**) einen Isolator umfasst.

4. Speicherelement mit:

einem magnetischen Dünnfilmelement (**14**) gemäß Anspruch 1; und
mindestens einer einen guten Leiter umfassenden Schreibleitung (**15**), die sich mit einem Isolator dazwischen in der Nähe eines Magnetwiderstandsfilms des magnetischen Dünnfilmelements (**14**) befindet.

5. Speicherelement nach Anspruch 4, bei dem sich auf den Seiten des Magnetwiderstandsfilmelements (**14**) eine Vielzahl von Schreibleitungen (**17**, **18**) befindet.

6. Speicherelement nach Anspruch 4, bei dem im Ansprechen auf die Richtung des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht (**11**) Informationen bewahrt werden und die Richtung des magnetischen Spins der zweiten Magnetschicht (**12**) stets in der gleichen Richtung gehalten wird.

7. Speicherelement nach Anspruch 4, bei dem im Ansprechen auf die Richtung des magnetischen Spins der zweiten Magnetschicht (**12**) Informationen bewahrt werden.

8. Magnetischer Dünnfilmspeicher mit:
einer Vielzahl von Speicherelementen gemäß Anspruch 4, die auf einem Substrat (**24**; **34**) in einer Matrix angeordnet sind,
wobei ein Magnetwiderstandsfilm jedes dieser Speicherelemente elektrisch mit einem Halbleiterbauelement verbunden ist, das entweder einen Feldeffekttransistor oder eine Diode umfasst.

9. Verfahren zum Aufzeichnen mittels eines Speicherelements gemäß Anspruch 6, mit den Schritten:
Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung (**15**);
Festlegen einer Richtung des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht (**11**) durch ein von dem elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld; und
Versetzen eines Speichers in einen Zustand von entweder "0" oder "1" durch Ändern der Richtung eines auf die Schreibleitung (**15**) aufzubringenden elektrischen Stroms.

10. Verfahren zum Wiedergeben mittels eines Speicherelements gemäß Anspruch 6, mit den Schritten:
Erfassen des Widerstands des Magnetwiderstandsfilmelements, um Informationen wiederzugeben, die in der ersten Magnetschicht (**11**) als Richtung des magnetischen Spins aufgezeichnet sind,

11. Verfahren zum Aufzeichnen mittels eines Speicherelements gemäß Anspruch 7, mit den Schritten:
Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung (**15**);
Festlegen einer Richtung des magnetischen Spins der zweiten Magnetschicht (**12**) durch ein von dem elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld; und
Versetzen eines Speichers in einen Zustand von entweder "0" oder "1" durch Ändern der Richtung eines auf die Schreibleitung (**15**) aufzubringenden elektrischen Stroms.

12. Verfahren zum Wiedergeben mittels eines Speicherelements gemäß Anspruch 7, mit den Schritten:
Anlegen eines elektrischen Stroms an die Schreibleitung (**15**);
Nutzen einer Widerstandsänderung infolge der Umkehr des magnetischen Spins der ersten Magnetschicht (**11**), die durch ein von dem elektrischen Strom erzeugtes Magnetfeld verursacht wird, um in der zweiten Magnetschicht (**12**) aufgezeichnete Informationen wiederzugeben.

13. Magnetisches Dünnfilmelement nach Anspruch 1, bei dem sich der Widerstand des Magnetwiderstandfilms abhängig davon ändert, ob die magnetischen Spins der ersten Magnetschicht und der zweiten Magnetschicht in derselben Richtung liegen oder nicht, und die nichtmagnetische Schicht einen Isolator umfasst, der eine Dicke von 0,5 nm bis 3 nm hat.

14. Magnetisches Dünnfilmelement nach Anspruch 1, bei dem sich der Widerstand des Magnetwiderstandfilms abhängig davon ändert, ob die magnetischen Spins der ersten Magnetschicht (**11**) und der zweiten Magnetschicht (**12**) derselben Richtung liegen oder nicht, und die nichtmagnetische Schicht (**13**) einen guten Leiter umfasst und die erste Magnetschicht (**11**) und die zweite Magnetschicht (**12**) eine Dicke von 2 nm bis 20 nm haben.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

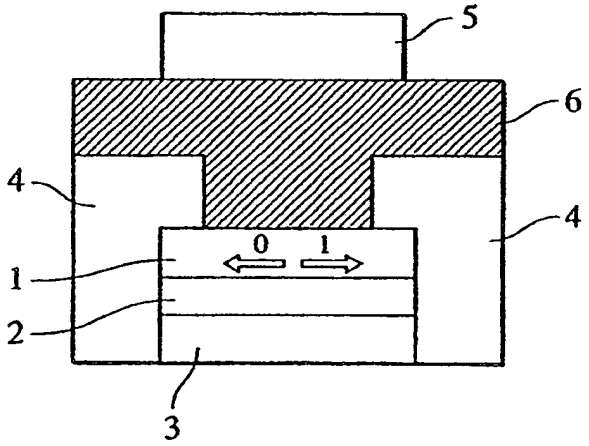


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

FIG. 2A
(STAND DER TECHNIK)

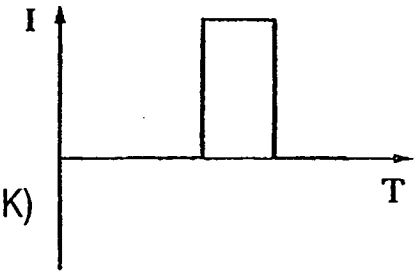


FIG. 2B (STAND DER TECHNIK)

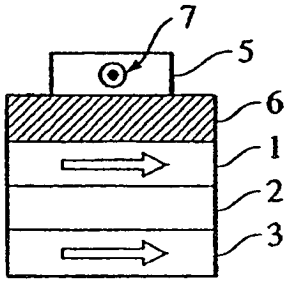


FIG. 2C
(STAND DER TECHNIK)

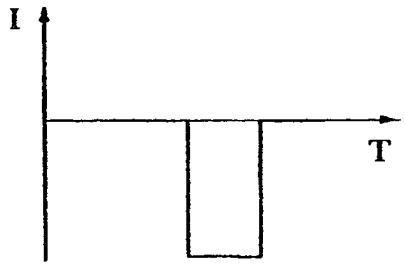


FIG. 2D (STAND DER TECHNIK)

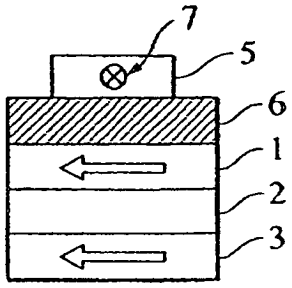


FIG. 3A
(STAND DER TECHNIK)

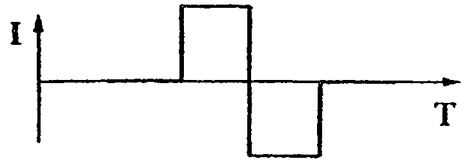


FIG. 3B
(STAND DER TECHNIK)

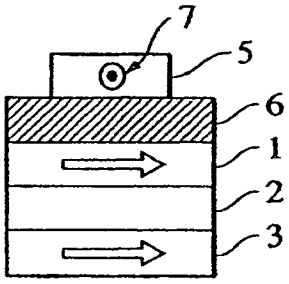


FIG. 3C
(STAND DER TECHNIK)

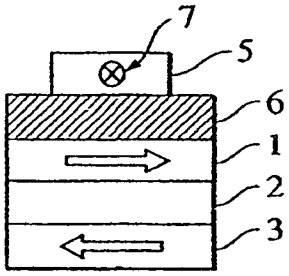


FIG. 3D
(STAND DER TECHNIK)

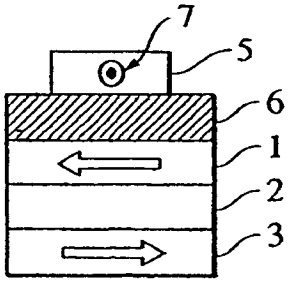


FIG. 3E
(STAND DER TECHNIK)

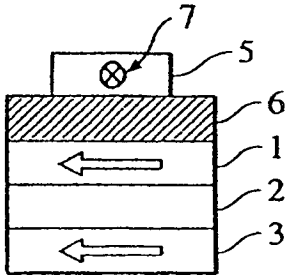


FIG. 4A

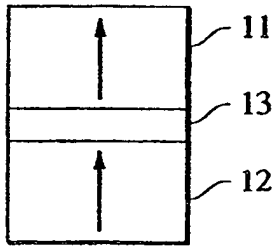


FIG. 4B

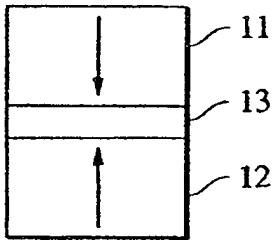


FIG. 5A

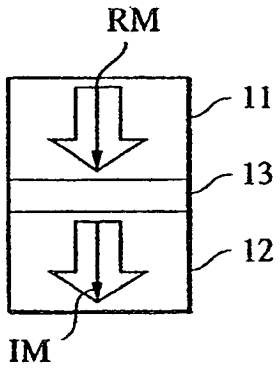
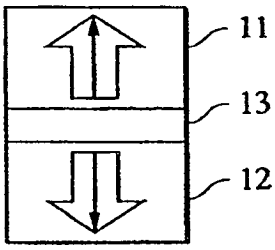


FIG. 5B



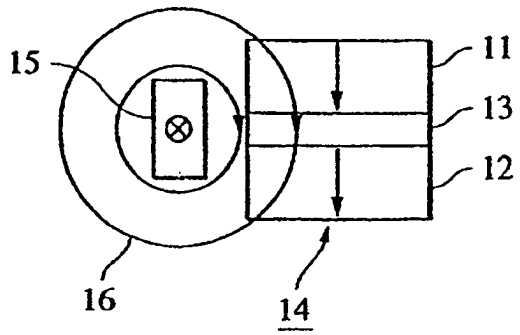


FIG. 6

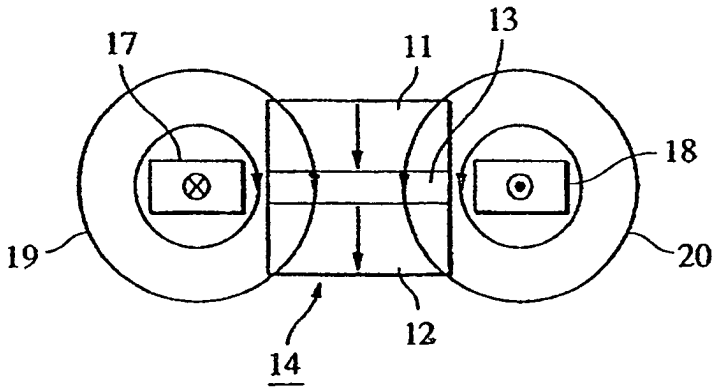


FIG. 7

FIG. 8A

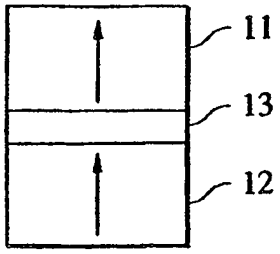


FIG. 8B

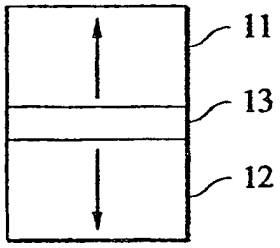


FIG. 8C

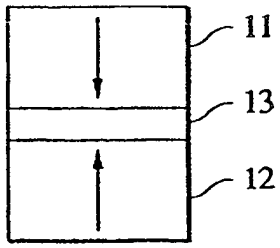
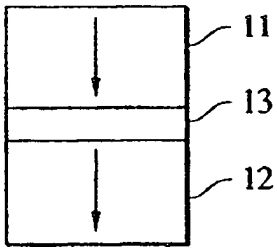


FIG. 8D



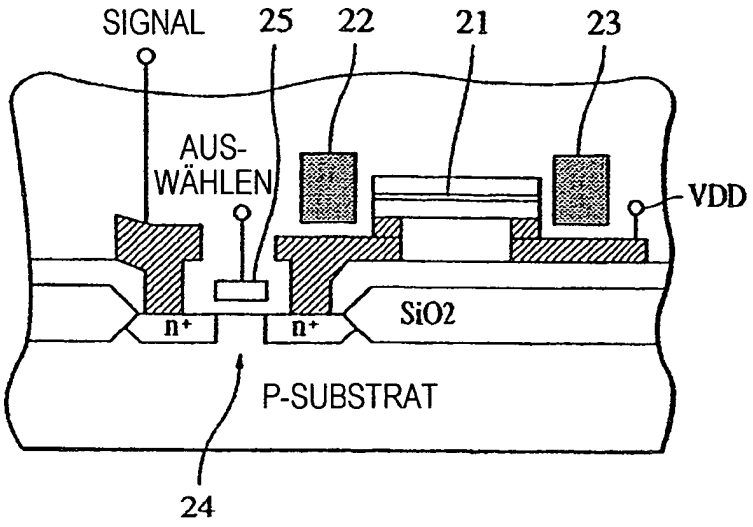

SIGNAL
25
22
21
23
AUS-
WÄHLEN
VDD
n+
n+
SiO2
P-SUBSTRAT
24

FIG. 9

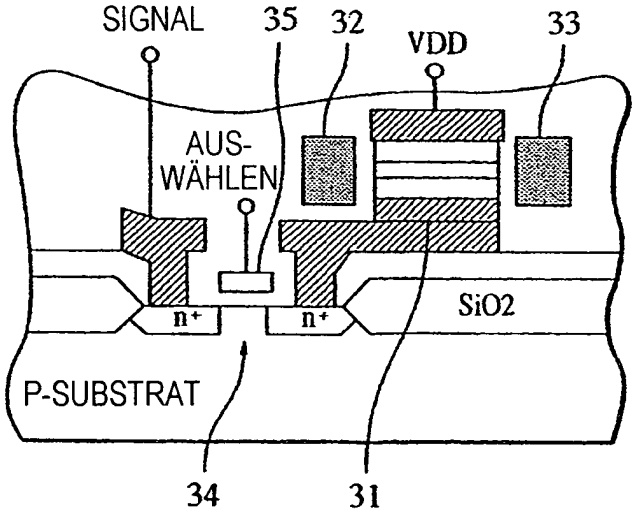

SIGNAL
35
32
VDD
33
AUS-
WÄHLEN
n+
n+
SiO2
P-SUBSTRAT
34
31

FIG. 10