



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 32 589 T2** 2006.12.07

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 038 299 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G11C 11/15** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 32 589.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/16314**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 935 700.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/004552**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.07.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **27.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.09.2000**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **02.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.12.2006**

(30) Unionspriorität:  
**118979                      20.07.1998                      US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH, DE, FR, GB, IT, LI**

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

(72) Erfinder:  
**CHEN, Eugene, Gilbert, AZ 85233, US; TEHRANI,  
N., Saied, Tempe, AZ 85284, US**

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

(54) Bezeichnung: **MAGNETISCHER TUNNELÜBERGANG MIT GERINGER UMSCHALTFELDSTÄRKE FÜR MAGNETISCHE MEHRZUSTANDSSPEICHERZELLE**

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

**[0001]** Magnetischer Tunnelübergang mit geringer Umschaltfeldstärke für magnetische Mehrzustandsspeicherzelle

### Gebiet der Erfindung

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf magnetische Tunnelübergänge für Speicherzellen und insbesondere auf sehr kleine magnetische Übergänge für Speicherzell-Arrays sehr hoher Dichte.

### Hintergrund der Erfindung

**[0003]** Ein magnetischer Direktzugriffsspeicher (MRAM: magnetic random access memory) ist ein nicht-flüchtiger Speicher, der im Grunde ein Riesenmagnetowiderstands- (GMR-: giant magnetoresistive) Material oder eine magnetische Tunnelübergangs- (MTJ-: magnetic tunneling junction) Struktur, eine Fühlerleitung und eine Wortleitung enthält. Der MRAM setzt die magnetischen Vektoren ein, um Speicherzustände zu speichern. Magnetische Vektoren in einer oder allen Schichten des GMR-Materials oder des MTJ werden sehr schnell von einer Richtung in eine entgegengesetzte Richtung geschaltet, wenn an das magnetische Material ein magnetisches Feld über einem bestimmten Schwellenwert oder einer bestimmten Intensität angelegt wird. Entsprechend der Richtung der magnetischen Vektoren in dem GMR-Material oder dem MTJ werden Zustände gespeichert, beispielsweise kann eine Richtung als logische "0" definiert werden und eine andere Richtung kann als eine logische "1" definiert werden. Das GMR-Material oder der MTJ behalten diese Zustände bei, selbst ohne dass ein Magnetfeld angelegt bleibt. Die in dem GMR-Material oder dem MTJ gespeicherten Zustände können wegen des Unterschiedes zwischen den Widerständen der beiden Zustände gelesen werden, indem ein Fühlerstrom in einer Fühlerleitung durch die Zelle geschickt wird.

**[0004]** Bei magnetischen Speicherzell-Arrays sehr hoher Dichte wird die Größe der individuellen Zellen sehr klein, wenn das Array hinreichend klein konstruiert ist, um in heutigen elektronischen Geräten nützlich zu sein. Da die Größe individueller Zellen kleiner wird, wird das Seitenverhältnis (Verhältnis Länge/Breite) im Allgemeinen kleiner. In magnetischen Speicherzellen mit zwei Schichten, z.B. Standardtunnelzellen, sind, wenn das Seitenverhältnis kleiner als 5 wird, die magnetischen Vektoren unter nicht erregten Bedingungen (Magnetfeld Null) antiparallel. In der anhängigen Anmeldung "Multi-Layer Magnetic Memory Cells with Improved Switching Characteristics", Seriennummer 08/723,159, eingereicht am 25. September 1996 und überschrieben an denselben Übertragungsempfänger, werden Verfahren zum Lesen von Zellen mit antiparallelen magnetischen Vek-

toren offenbart. In einer ebenfalls anhängigen Anmeldung mit dem Titel "Magnetic Device Having Multi-Layers with Insulating and Conductive Layers", Seriennummer 08/834,968, eingereicht am 07. April 1997 und überschrieben an denselben Übertragungsempfänger wird eine magnetische Platzhalterschicht zu einem Stapel von zwei magnetischen Schichten hinzugefügt und mit einer der zwei magnetischen Schichten gekoppelt, so dass die andere magnetische Schicht eine freie Schicht ist. Ein Nachteil des Ansatzes mit magnetischer Platzhalterschicht ist, dass sie sich auf die Löschung der magnetostatischen Wechselwirkung zwischen den zwei magnetischen Schichten verlässt und dass die magnetostatische Wechselwirkungsstärke von der Geometrie der Zelle und dem Abstand zwischen den Schichten abhängt. Diese Parameter ändern sich, wenn die kritischen Dimensionen schrumpfen.

**[0005]** Außerdem steigt in magnetischen Speicherzellen mit zwei Schichten, z.B. Standardtunnelzellen, wenn das Seitenverhältnis unter 5 sinkt, der Betrag des erforderlichen Magnetfeldes zum Schalten der Zustände der Zelle dramatisch. Im Allgemeinen werden, wenn die Zellen gemacht werden, die Schichten der Zellen dünner gemacht, um den Betrag des Magnetfeldes, der zum Schalten der Zelle erforderlich ist, zu reduzieren, da das magnetische Moment (bestimmt durch das Material) mal der Dicke der Schicht das erforderliche Schaltfeld bestimmt. Es können auch weichere magnetische Materialien verwendet werden, um das magnetische Moment zu reduzieren; Die Reduktion im Schaltfeld ist jedoch für ultrakleine Speicherzellen limitiert. Auch werden die Zellen, wenn sie kleiner gemacht werden, instabil, da, beispielsweise wenn die Größe der Speicherzelle 10 Nanometer oder kleiner ist, die Energiebarriere der Magnetisierung, die proportional dem Zellvolumen ist, aufgrund des reduzierten Volumens reduziert wird und nahe der thermischen Fluktuationsenergie, die  $kT$  ist, liegt.

**[0006]** US 5,768,183 offenbart eine magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle, wie in dem Oberbegriff von Anspruch 1 genannt. Sie umfasst eine Anordnung, in der eine Mehrzahl von Schichten magnetischen Materials parallel in übereinander liegender Beziehung gestapelt und durch Schichten nicht magnetischen Materials getrennt sind, so dass eine mehrschichtige Magnetspeicherzelle gebildet wird. Die Breite der Zelle ist geringer als die Magnetdomänenwände innerhalb der magnetischen Schichten, so dass magnetische Vektoren in den magnetischen Schichten entlang der magnetischen Schichten weisen und das Verhältnis der Länge zur Breite der magnetischen Speicherzelle im Bereich von 1,5 bis 10 liegt. Die magnetischen Schichten sind antiferromagnetisch gekoppelt, wenn das Verhältnis kleiner als 4 ist, und sind ferromagnetisch gekoppelt, wenn das Verhältnis größer als 4 ist.

**[0007]** Patent Abstracts of Japan Band 1998, Nr. 09, 31. Juli 1998 & JP 10106255 A, 24. April 1998 & US 5 894 447 A, 13. April 1999 offenbaren eine Halbleiterspeichervorrichtung, die eine Mehrzahl von Wortleitungen, eine Mehrzahl von Bitleitungen, eine Mehrzahl von Speicherzellen, die selektiv an Kreuzungen zwischen den mehreren Bitleitungen und den mehreren Wortleitungen angeordnet und eingerichtet sind, um Daten gemäß einer Widerstandsänderung zu speichern, eine Mehrzahl von Subzellblöcken, die durch eine der mehreren Speicherzellen oder zwei oder mehr Speicherzellen, die in Reihe in einer Richtung der Bitleitung verbunden sind, gebildet werden, eine Mehrzahl von Zellblöcken, die wenigstens Subzellblöcken, die in Reihe in der Richtung der Bitleitung verbunden sind, und ein Speicherzell-Array, das von wenigstens zwei Zellblöcken gebildet wird, die in einer Richtung der Wortleitung angeordnet sind, eine Schaltung um einem elektrischen Fluss zu gestatten, in einer Richtung der Bitleitung der mehreren Zellblöcke zu fließen, und eine Schaltung zum Auslesen von Daten aus Knoten an zwei Enden des Subzellblocks in der Mehrzahl von Subzellblöcken, einschließlich einer Speicherzelle, die durch mehrere Wortleitungen ausgewählt ist, umfasst.

**[0008]** US 5,587,943 offenbart eine gestapelte Struktur einer ferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur, eine Codeelementleitung, eine Wortleitung und isolierende Schichten dazwischen, in denen die gestapelte Struktur von Flussabschlussmaterial umgeben ist. US 5,587,943 offenbart nicht, dass das Flussmaterial angeordnet ist, um nur exponierte Ränder der ferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur einzuschließen und nicht auf einer Oberfläche der ferromagnetisch gekoppelten Vielschichtstruktur angeordnet ist.

**[0009]** Entsprechend ist höchst wünschenswert, magnetische Direktzugriffsspeicher und Speicherzellen zur Verfügung zu stellen, die in der Lage sind, mit geringem magnetischem Feld beschrieben (Schalten von gespeicherten Zuständen) zu werden und die ein ausreichendes Volumen aufweisen, um nicht von der thermischen Fluktuationsenergie betroffen zu sein.

**[0010]** Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine neue und verbesserte Mehrzustands-, mehrschichtige Magnetspeicherzelle mit ferromagnetisch gekoppelten magnetischen Schichten zur Verfügung zu stellen, die ausgelegt ist, das erforderliche Schaltfeld zu reduzieren.

**[0011]** Es ist eine noch weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine neue und verbesserte Mehrzustands-, mehrschichtige Magnetspeicherzelle mit ferromagnetisch gekoppelten magnetischen Schichten zur Verfügung zu stellen, die sehr klein und mit einem Seitenverhältnis kleiner als 5 hergestellt werden kann.

**[0012]** Es ist eine noch weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine neue und verbesserte Mehrzustands-, mehrschichtige Magnetspeicherzelle mit einer erhöhten Energiebarriere der Magnetisierung zur Verfügung zu stellen.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0013]** Die obigen Aufgaben werden wenigstens teilweise gelöst und die obigen Zwecke werden erfüllt durch eine magnetoresistive Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld, wie in Anspruch 1 definiert. Sie umfasst eine antiferromagnetisch gekoppelte Mehrschichtstruktur mit ersten und zweiten magnetoresistiven Schichten mit einer nichtmagnetischen Leiterschicht, die in paralleler Juxtaposition zwischen dem Paar magnetoresistiver Schichten angeordnet ist. Das Paar magnetoresistiver Schichten in der antiferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur sind konstruiert, bei unterschiedlichen Magnetfeldern zu schalten, indem sie unterschiedliche Dicken oder unterschiedliche magnetische Materialien aufweisen. Die paarweisen, magnetoresistiven Schichten in der antiferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur haben jeweils einen magnetischen Vektor, die aufgrund der antiferromagnetischen Kopplung des Paares von Schichten und des Seitenverhältnisses ohne angelegtes magnetisches Feld antiparallel sind. Die Zellen umfassen weiter eine magnetoresistive Struktur mit einem magnetischen Vektor mit einem festen Verhältnis zu dem Vektor der zweiten magnetoresistiven Schicht. Elektrisch isolierendes Material ist in paralleler Juxtaposition zwischen der antiferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur und der magnetoresistiven Struktur angeordnet, um einen magnetischen Tunnelübergang zu bilden. Ein Flussabschlussmaterial ist angeordnet, um exponierte Ränder der antiferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur zu umschließen.

**[0014]** Im Grunde wird das magnetische Feld, das zum Schalten von Zuständen in der Zelle erforderlich ist, von der Differenz zwischen den beiden magnetoresistiven Schichten in der antiferromagnetisch gekoppelten Mehrschichtstruktur diktiert. Auch kann jede der ersten und zweiten Strukturen ein kleines magnetisches Nettomoment haben oder konstruiert sein, ein solches zu haben, und daher hat die Speicherzelle ein kleines magnetisches Nettomoment, so dass sie näher zu benachbarten Zellen positioniert werden kann, ohne die Nachbarzellen zu beeinflussen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0015]** Es wird Bezug genommen auf die Zeichnungen:

**[0016]** [Fig. 1](#) ist eine vereinfachte Seitenansicht ei-

ner magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0017] [Fig. 2](#) ist eine Ansicht ähnlich [Fig. 1](#), die einen anderen Modus und eine Modifikation illustriert;

[0018] [Fig. 3](#) bis [Fig. 9](#) illustrieren Schritte beim Schalten der magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld aus dem Modus von [Fig. 1](#) zum Modus von [Fig. 2](#); und

[0019] [Fig. 10](#) ist eine vereinfachte Draufsicht auf ein Array von magnetischen Tunnelübergangsspeicherzellen mit niedrigem Schaltfeld gemäß der vorliegenden Erfindung.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0020] Man wende sich nun den Zeichnungen zu. [Fig. 1](#) illustriert eine vergrößerte, vereinfachte Seitenansicht einer magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle **10** mit niedrigem Schaltfeld gemäß der vorliegenden Erfindung. Der magnetische Tunnelübergang **10** ist allgemein auf einem Trägersubstrat **11** ausgebildet und umfasst eine magnetoresistive Struktur **12**, die von dem Substrat **11** getragen wird, eine Schicht **13** aus elektrisch isolierendem Material, die auf der Struktur **12** positioniert ist, und eine magnetoresistive Struktur **15**, die auf der Schicht **13** aus elektrisch isolierendem Material positioniert ist, um die Schicht **13** sandwichartig zwischen den magnetoresistiven Strukturen **12** und **15** einzuschließen, um einen Tunnelübergang zu bilden.

[0021] Die magnetoresistive Struktur **15** umfasst eine antiferromagnetisch gekoppelte Mehrschichtstruktur, enthaltend magnetoresistive Schichten **17** und **18** mit einer nicht magnetisch leitenden Schicht **19**, die in paralleler Juxtaposition zwischen den magnetoresistiven Schichten **17** und **18** angeordnet ist. Die magnetoresistive Schicht **17** hat einen magnetischen Vektor **20**, der entlang einer bevorzugten magnetischen Achse parallel der planaren Oberfläche des Substrates **11** liegt, und die magnetoresistive Schicht **18** hat einen magnetischen Vektor **21**. Die magnetischen Vektoren **20** und **21** sind antiparallel, wenn kein magnetisches Feld an den magnetischen Tunnelübergang **10** angelegt ist, und zwar aufgrund der antiferromagnetischen Kopplung zwischen den magnetoresistiven Schichten **17** und **18** und/oder eines Seitenverhältnisses kleiner als ungefähr 5. Im Allgemeinen sind in Zellen mit einem Längen/Breiten-Verhältnis von weniger als ungefähr 4 die Schichten magnetischen Materials (Schichten **17** und **18** in [Fig. 1](#)) antiferromagnetisch gekoppelt. Allgemein bedeutet zum Zweck dieser Offenbarung der Ausdruck "antiferromagnetisch gekoppelt", dass jeder der antiparallelen Zustände (illustriert in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#)) stabil ist und dass der parallele Zustand

instabil ist und ein konstantes magnetisches Feld erfordert, da die magnetischen Vektoren stets dazu neigen, sich in einen antiparallelen Zustand (in entgegengesetzte Richtungen weisend) zu bewegen. Abhängig von der Konstruktion, Form und Größe der magnetoresistiven Struktur **15** können die Vektoren **20** und **21** durch entweder formbedingte oder magnetische, kristalline Anisotropie gezwungen sein, entlang der bevorzugten magnetischen Achse zu liegen.

[0022] Im Fall zirkular geformter Zellen zum Beispiel kann die bevorzugte Magnetisierungsrichtung durch uniaxiale Kristallfeldanisotropie (oder magnetische, kristalline Anisotropie) bestimmt werden. Diese bevorzugte Magnetisierungsrichtung wird während des Filmauftrags durch ein Vorspannungsfeld oder durch Glühen des Films nach Auftragung in einem hohen magnetischen Feld (z.B. mehrere kOe) bei erhöhten Temperaturen (z.B. 200°C bis 300°C) eingestellt. Im Fall einer quadratischen oder Diamantform kann die uniaxiale Kristallanisotropie entlang einer diagonalen Richtung des Quadrates eingestellt werden. Im Fall einer elliptisch oder rechteckig geformten Zelle kann die uniaxiale Kristallanisotropie entlang der langen Achse der Zelle eingestellt werden. Ein bevorzugtes Merkmal ist es hier, den Formeffekt, der zu einer Erhöhung des erforderlichen Schaltfeldes bei schmalen Zellbreiten beiträgt, zu minimieren und magnetokristalline Anisotropie zu verwenden, um die bevorzugte Magnetisierungsrichtung, die von einer Speicherzelle benötigt wird, einzustellen.

[0023] Auch ist die magnetoresistive Schicht **17** konstruiert, die Richtung des magnetischen Vektors **20** bei einer anderen Magnetfeldintensität zu schalten als das Schalten des magnetischen Vektors **21** der magnetoresistiven Schicht **18**. Dieses Merkmal kann auf mehrere verschiedene Weisen erfüllt werden, einschließlich durch Ausbilden der Schicht **17** dünner (mit weniger Material) als die Schicht **18**, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, durch Ausbildungen der Schicht **17** mit anderer Magnetisierung (z.B. Ausbilden der Schicht **17** aus weicherem magnetischem Material als Schicht **18**) oder irgendeine Kombination von Größe und Magnetisierung.

[0024] Die magnetoresistiven Schichten **17** und **18** können jeweils einzelne Schichten aus ferromagnetischen Materialien sein, wie etwa eine Schicht aus Nickel, Eisen, Kobalt oder eine Legierung daraus, einschließlich Legierungen mit Palladium oder Platin darin. Alternativ kann jede der Schichten **17** und **18** eine ferromagnetische Verbundschicht sein, wie etwa eine Schicht aus Nickel-Eisen-Kobalt, die eine Schicht aus Kobalt-Eisen bedeckt oder Drei-Schichten-Strukturen, enthaltend Schichten aus Kobalt-Eisen und Nickel-Eisen-Kobalt und Kobalt-Eisen mit Kobalt-Eisen an der Grenzfläche zu benachbarten Schichten. Materialien, die für die nicht magnetisch leitende Schicht **19** geeignet sind, enthalten die meisten elektrisch

leitfähigen Materialien, wie etwa Kupfer und dergleichen.

**[0025]** Die magnetoresistive Struktur **12**, einschließlich wenigstens einer magnetoresistiven Schicht mit einem magnetischen Vektor, der parallel zu der bevorzugten Achse liegt, wird auf dem Substrat **11** aufgebracht, wobei die Schicht **13** aus elektrisch isolierendem Material in paralleler Juxtaposition zwischen den Strukturen **12** und **15** situiert wird, um den magnetischen Tunnelübergang **10** zu bilden. In [Fig. 1](#) ist die magnetoresistive Struktur **12** als ähnlich der Struktur **15** illustriert und enthält magnetoresistive Schichten **25** und **26**, die von einer nicht magnetisch leitenden Schicht **27** getrennt sind. Es sollte hier beachtet werden, dass nur die Schichten **17** und **26**, die benachbart zu der Schicht **13** aus elektrisch isolierendem Material sind, zu der Magnetoresistenz oder Modenänderungen des magnetischen Tunnelübergangs **10** beitragen. Die magnetoresistive Schicht **26** hat einen magnetischen Vektor **28**, der allgemein bei Betrieb des magnetischen Tunnelübergangs **10** in einer Richtung entlang der bevorzugten Magnetachse fixiert ist. Die magnetoresistive Struktur **12** kann daher im Wesentlichen jede Konfiguration haben, die eine magnetoresistive Schicht mit einem festen magnetischen Vektor benachbart zu einer Schicht **13** aus elektrisch isolierendem Material enthält, um einen magnetischen Tunnelübergang zu erzeugen, und die vorzugsweise ein magnetisches Moment hat, das im Wesentlichen Null ist, um einen minimalen Effekt auf benachbarte Zellen zu erzeugen.

**[0026]** Bei einer magnetischen Zelle vom Tunnelübergangstyp ist die Schicht **13** eine Barrieren- oder Tunnelschicht, deren Vorzeichen zwischen den antiferromagnetischen Schichten **17** und **26** einen Tunnelübergang erzeugt, der einen senkrechten Stromfluss durch die Schicht **13** von der Schicht **17** zu der Schicht **26** (oder umgekehrt) erlaubt. Wesentlicher Weise erscheint der magnetische Tunnelübergang **10** als ein relativ hoher Widerstand (hier bezeichnet als Widerstand  $R$ ), der eine Abhängigkeit von der Quadratfläche der Zelle und der dielektrischen Struktur aufweist, im Allgemeinen einige Tausend Ohm, z.B. 10–1000 kOhm. Wenn die Magnetisierungsvektoren in den Schichten **17** und **26** antiparallel sind, wie in [Fig. 1](#) illustriert, bleibt der Widerstand  $R$  des magnetischen Tunnelübergangs **10** sehr hoch. Wenn die Magnetisierungsvektoren in den Schichten **17** und **26** parallel sind, wie in [Fig. 2](#) illustriert, fällt der Widerstand  $R$  des magnetischen Tunnelübergangs **10** merklich.

**[0027]** In einem speziellen Beispiel wird die Schicht **17** aus Kobalt (Co) von ungefähr 50 Å Dicke gebildet, die Schicht **13** wird aus Aluminiumoxyd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) von ungefähr 15 Å Dicke gebildet, und die Schicht **26** wird aus Nickel-Eisen (NiFe) von ungefähr 50 Å Dicke gebildet. Die Schicht **18**, die bei diesem Beispiel dicker

ist als die Schicht **17** ist ungefähr 60 Å dick und die Schicht **25** hat, falls sie vorliegt, eine ähnliche Dicke. Der Zustand des magnetischen Tunnelübergangs **10** wird relativ einfach erföhlt, indem ein Fühlerstrom von der Schicht **18** zur Schicht **25** (oder umgekehrt) durch ihn hindurchgeschickt wird. Die Änderung des Widerstandes im magnetischen Tunnelübergang **10** wird leicht als Änderung des Spannungsabfalls über dem magnetischen Tunnelübergang **10** gelesen, der bequem zusammen mit Speicherarrays und dergleichen verwendet werden kann. Es wird speziell Bezug genommen auf [Fig. 2](#). Illustriert ist eine ähnliche Struktur wie in [Fig. 1](#) in einem anderen Modus, und es ist eine leicht unterschiedliche Ausführungsform illustriert, wobei ähnliche Komponenten mit ähnlichen Bezugszeichen, denen ein Strich hinzugefügt wurde, um die andere Ausführungsform zu kennzeichnen, bezeichnet sind. Bei dieser Ausführungsform wird die antiparallele Kopplung zwischen den Schichten **17'** und **18'** der Struktur **15'** verstärkt durch die Hinzufügung eines Flussabschlussmaterials **30'**, welches angeordnet wird, um exponierte Ränder der Schichten **17'**, **18'** und **19'** einzuschließen. Das Flussabschlussmaterial **30'** ist ein weiches magnetisches Material, welches Flusslinien schließt oder einen magnetischen Kreis zwischen den verschiedenen Schichten vervollständigt. Das weiche Magnetmaterial **30'** führt einfach magnetische Feldlinien von den Schichten **17'** bzw. **18'** in einer geschlossenen Schleife, um die magnetischen Endpole weiter zu reduzieren, und magnetische Streufelder stark zu reduzieren. Ähnliches Flussabschlussmaterial kann in Verbindung mit den Schichten **25'**, **26'** und **27'** benutzt werden, falls diese Schichten vorliegen.

**[0028]** Man wende sich nun [Fig. 3](#) bis [Fig. 9](#) zu. Illustriert sind mehrere Schritte beim Schalten der magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle **10** mit niedrigem Schaltfeld von dem Modus von [Fig. 1](#) zum Modus von [Fig. 2](#). Insbesondere illustriert [Fig. 3](#) ein Vektor **20** der magnetoresistiven Schicht **17** und einen Vektor **21** der magnetoresistiven Schicht **18** in der antiparallelen Position von [Fig. 1](#). In dieser Position ist der Vektor **20** auch antiparallel zum Vektor **28** der magnetoresistiven Schicht **26**, so dass die magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle **10** in einem Hochwiderstandsmodus ist. Um die magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle **10** in den Niedrigwiderstandsmodus (illustriert in [Fig. 2](#)) zu schalten, wird ein anfänglich kleines magnetisches Feld an die magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle **10** angelegt, welches ausreicht, um den Vektor **20** in eine parallele Position mit Vektor **21**, wie in [Fig. 4](#) illustriert, zu schalten. Ein größeres positives magnetisches Feld wird dann an die magnetoresistive Tunnelübergangsspeicherzelle **10** angelegt, welches die Vektoren **20** und **21** veranlasst, in entgegengesetzte Richtungen um  $180^\circ$  zu rotieren, wie durch die in [Fig. 5](#), [Fig. 6](#) bzw. [Fig. 7](#) illustrierten Übergangszustände angezeigt. Schließlich sind die Vektoren **20**

und **21** in die in [Fig. 8](#) illustrierte, entgegengesetzte Richtung geschaltet und der Vektor **20** nimmt, wenn das magnetische Feld entfernt wird, wieder einen antiparallelen Zustand ein, wie in [Fig. 9](#) illustriert. Der in [Fig. 9](#) illustrierte, antiparallele Zustand ist ein stabiler Zustand und repräsentiert den Niedrigwiderstandsmodus der magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle **10**.

**[0029]** Weil die magnetischen Vektoren **20** und **21** der magnetoresistiven Schichten **17** und **18** in entgegengesetzte Richtungen um  $180^\circ$  rotieren, neigen die magnetischen Momente dazu, einander zu versetzen und es ist ein minimaler Betrag des magnetischen Feldes erforderlich, um die Schaltoperation durchzuführen. Der erforderliche Betrag an magnetischem Schaltfeld, um die Schaltoperation durchzuführen, hängt primär von den Unterschieden in Dicke oder Material zwischen den magnetoresistiven Schichten **17** und **18** ab. Dies bedeutet, dass, da stabile Moden für die Vektoren **20** und **21** antiparallel sind, durch Ausbilden einer der Schichten **17** und **18** so, dass sie bei einer anderen magnetischen Feldintensität als die andere der Schichten **17** und **18** geschaltet wird, die Modenschaltung zu einer Rotation der Vektoren **20** und **21** in unterschiedlichen Richtungen mit dem resultierenden, vorteilhaften Versetzen der magnetischen Momente führt.

**[0030]** Einige zusätzliche Vorteile, die durch die vorliegende Struktur realisiert werden, ist die Tatsache, dass die antiparallelen Vektoren **20** und **21** zu einem sehr kleinen magnetischen Gesamtmoment für die magnetoresistive Tunnelübergangsspeicherzelle **10** führen. Dieses niedrige magnetische Moment wird weiter verbessert durch das in [Fig. 2](#) illustrierte Flussabschlussmaterial **30'**. Auch ist, wenn sich die Größe der magnetoresistiven Tunnelübergangsspeicherzelle **10** Nanometern nähert, die Energiebarriere der Magnetisierung (die proportional dem Volumen ist), nahe der thermischen Fluktuationsenergie (KT). Diese veranlasst die Zelle instabil zu sein. Bei der vorliegenden Erfindung kann das Schaltfeld wesentlich reduziert werden, ohne die Gesamtgröße auf einen instabilen Zustand zu reduzieren. Daher ist es ein Vorteil des Vorliegens zweier Schichten, die zur selben Zeit in unterschiedlichen Richtungen schalten, dass das Schaltfeld von dem Unterschied in der Dicke zwischen den zwei schaltenden Schichten oder genauer, dem Unterschied zwischen dem Produkt aus Dicke und Magnetisierung bestimmt wird. Beide Schichten können daher hinreichend dick sein, so dass die Energiebarriere für die zwei verschiedenen magnetischen Zustände höher ist als die thermische Fluktuationsenergie.

**[0031]** Man wende sich nun [Fig. 10](#) zu. Illustriert ist eine vereinfachte Draufsicht auf ein Array **45** hoher Dichte von magnetoresistiven Tunnelübergangsspeicherzellen **46** mit niedrigem Schaltfeld gemäß der

vorliegenden Erfindung. Das Array **45** ist auf einer Substratstruktur **47** ausgebildet, die Steuerelektronik und andere periphere Ausrüstung enthalten kann, falls dies praktisch ist. Auch kann, wenn eine antiferromagnetische Schicht oder dergleichen als Teil der Substratstruktur **47** enthalten ist, um den Vektor **28** der Struktur **12** in einer festen Position festzuhalten, die Schicht als eine Deckschicht ausgebildet sein, so dass sie mit jeder Zelle **46** kooperiert. Die Zellen **46**, die beispielsweise in einer gemeinsamen Reihe liegen, haben ihre obere magnetische Schicht mit der magnetischen Bodenschicht der benachbarten Zelle verbunden, um eine gemeinsame Fühlerleitung **48** zu bilden. Weiter sind Wortleitungen **49**, illustriert als gestrichelte Linien, mit den Zellen **46**, die in einer gemeinsamen Spalte liegen, zum Zwecke des Schreibens von Information in die Zellen, wie oben beschrieben gekoppelt. Wegen des verschwindenden oder im Wesentlichen verschwindenden magnetischen Momentes der Zellen **10** können Zellen dieses Typs sehr nahe positioniert werden und die Dichte eines Arrays dieser Zellen kann stark vergrößert werden.

**[0032]** Es wurden daher neue und verbesserte magnetische Direktzugriffsspeicher und Speicherzellen, die in der Lage sind, mit niedrigem magnetischem Feld beschrieben (Schalten gespeicherter Zustände) zu werden, offenbart. Auch ist die neue und verbesserte Mehrzustands-, mehrschichtige Magnetspeicherzelle mit antiferromagnetisch gekoppelten magnetischen Schichten in der Lage, mit geringerem magnetischem Feld beschrieben (Schalten gespeicherter Zustände) zu werden, und hat ein Volumen, das hinreichend ist, um nicht von der thermischen Fluktuationsenergie betroffen zu sein. Außerdem erzeugt die neue und verbesserte Mehrzustands-, mehrschichtige Magnetspeicherzelle mit antiferromagnetisch gekoppelten magnetischen Schichten, die offenbart wurde, weniger magnetische Wechselwirkung mit benachbarten Zellen in einem Array und kann sehr klein und mit einem Seitenverhältnis kleiner als 5 hergestellt werden. Weiter ist die neue und verbesserte Mehrzustands-, mehrschichtige Magnetspeicherzelle einfacher herzustellen und zu benutzen und führt wegen ihrer Größe zu einem Zellarray höherer Dichte.

**[0033]** Obgleich wir spezielle Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gezeigt und beschrieben haben, kommen Modifikationen und Verbesserungen dem Fachmann in den Sinn. Wir wünschen daher, dass es verstanden werde, dass diese Erfindung nicht auf die speziellen, dargestellten Formen beschränkt sei und wir beabsichtigen, in den beigefügten Ansprüchen alle Modifikationen, die sich nicht vom Umfang der Erfindung entfernen, abzudecken.

## Patentansprüche

1. Magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle (10) mit niedrigem Schaltfeld, umfassend:

eine erste antiferromagnetisch gekoppelte, mehrschichtige Struktur (15), enthaltend erste (17) und zweite (18) magnetoresistive Schichten mit einer ersten nicht magnetisch leitenden Schicht (19) die in paralleler Juxtaposition zwischen den ersten und zweiten magnetoresistiven Schichten angeordnet ist, wobei die erste magnetoresistive Schicht einen ersten magnetischen Vektor (20) aufweist und die zweite magnetoresistive Schicht einen zweiten magnetischen Vektor (21) aufweist, wobei die ersten und zweiten magnetischen Vektoren antiparallel sind, wenn kein magnetisches Feld angelegt ist, und wobei die erste magnetoresistive Schicht so konstruiert ist, dass die Richtung des ersten magnetischen Vektors bei einer anderen magnetischen Feldintensität geschaltet wird als der zweite magnetische Vektor der zweiten magnetoresistiven Schicht;

eine zweite Struktur (12) enthaltend wenigstens eine magnetoresistive Schicht (26) mit einem magnetischen Vektor (28), der parallel mit einem der ersten und zweiten magnetischen Vektoren der ersten antiferromagnetisch gekoppelten, mehrschichtigen Struktur ist; und elektrisch isolierendes Material (13), welches in paralleler Juxtaposition zwischen den ersten und zweiten Strukturen liegt, um einen magnetoresistiven Tunnelübergang zu bilden; gekennzeichnet durch:

Flussabschlussmaterial (30'), welches angeordnet ist, um nur exponierte Ränder der ersten antiferromagnetisch gekoppelten, mehrschichtigen Struktur einzuschließen, und wobei das Flussabschlussmaterial nicht auf einer Oberfläche der ersten antiferromagnetisch gekoppelten, mehrschichtigen Struktur angeordnet ist.

2. Magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld, wie in Anspruch 1 beansprucht, wobei die ersten und zweiten Strukturen ein Längen/Breiten-Verhältnis im Bereich von 1 bis 5 haben.

3. Magnetischer Tunnelübergang mit niedrigem Schaltfeld wie in Anspruch 1 beansprucht, wobei die ersten und zweiten magnetoresistiven Schichten unterschiedliche Dicken zum Schalten bei unterschiedlichen Schaltfeldern aufweisen.

4. Magnetische Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld, wie in Anspruch 1 beansprucht, wobei die ersten und zweiten magnetoresistiven Schichten unterschiedliche Magnetisierungen zum Schalten bei unterschiedlichen Schaltfeldern aufweisen.

5. Array hoher Dichte von magnetischen Tunnelübergangsspeicherzellen mit niedrigem Schaltfeld,

gekennzeichnet durch:

ein Substrat mit einer planaren Oberfläche (11); und eine Mehrzahl von untereinander verbundenen magnetoresistiven Tunnelübergangsspeicherzellen (10) mit niedrigem Schaltfeld gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 und getragen auf der planaren Oberfläche des Substrates und untereinander verbunden, um ein Speicherarray zu bilden, wobei jede Zelle der Mehrzahl von Zellen ein Seitenverhältnis von kleiner als 5 hat und wobei eine Draufsicht zirkular, diamantförmig oder elliptisch ist.

6. Verfahren zum Herstellen einer magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld, umfassend die Schritte:

Bereitstellen eines Substrates (11) mit einer planaren Oberfläche;

Aufbringen einer ersten magnetoresistiven Struktur (12) auf dem Substrat, wobei die erste magnetoresistive Struktur einen magnetischen Vektor (28) hat, der entlang einer bevorzugten magnetischen Achse parallel der planaren Oberfläche liegt;

Aufbringen einer Schicht aus elektrisch isolierendem Material (13) auf der magnetoresistiven Struktur; und Aufbringen einer zweiten magnetoresistiven Struktur (15) auf der elektrisch isolierenden Schicht, umfassend

Aufbringen einer ersten Schicht aus magnetoresistivem Material (17) mit einer ersten Dicke auf der elektrisch isolierenden Schicht und Versorgen der ersten Schicht mit einem magnetischen Vektor (20), der entlang der bevorzugten magnetischen Achse liegt;

Aufbringen einer ersten nicht magnetisch leitenden Schicht (19) auf der ersten Schicht aus magnetoresistivem Material;

Aufbringen einer zweiten Schicht aus magnetoresistivem Material (18) mit einer zweiten Dicke, die unterschiedlich zu der ersten Dicke ist, auf der ersten nicht magnetisch leitenden Schicht und Versorgen der zweiten Schicht mit einem magnetischem Vektor (21), der entlang der bevorzugten magnetischen Achse parallel zu der magnetischen Achse der ersten Schicht aus magnetoresistivem Material liegt, wobei die ersten und zweiten Schichten aus magnetoresistivem Material und die erste nicht magnetisch leitende Schicht eine antiferromagnetisch gekoppelte, mehrschichtige Struktur (15) definieren, in der der magnetische Vektor der zweiten Schicht antiparallel zu dem magnetischen Vektor der ersten Schicht ist, wenn kein magnetisches Feld angelegt ist; und Anordnen eines Flussabschlussmaterials benachbart zu exponierten Rändern der ersten antiferromagnetisch gekoppelten mehrschichtigen Struktur, um nur die exponierten Ränder einzuschließen, wobei das Flussabschlussmaterial nicht auf einer Oberfläche der ersten antiferromagnetisch gekoppelten, mehrschichtigen Struktur angeordnet ist;

wobei die erste magnetoresistive Struktur, die Schicht aus elektrisch isolierendem Material und die zweite magnetoresistive Struktur eine magnetoresis-

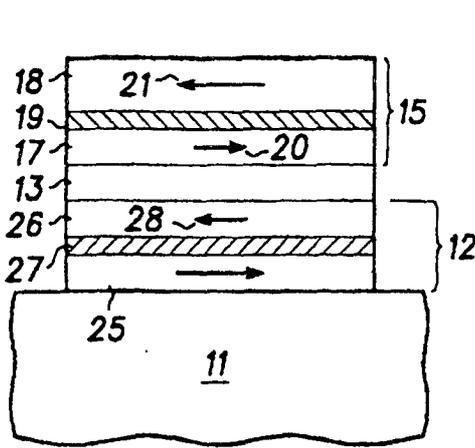
tive Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld bilden.

7. Verfahren zum Herstellen einer magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld, wie in Anspruch 6 beansprucht, wobei die Schritte des Aufbringens erster und zweiter magnetoresistiver Schichten ein Aufbringen erster und zweiter magnetoresistiver Schichten mit unterschiedlichen Dicken zum Schalten bei unterschiedlichen Schaltfeldern enthalten.

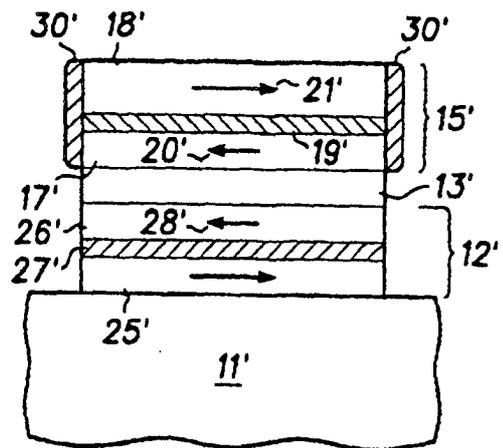
8. Verfahren zum Herstellen einer magnetischen Tunnelübergangsspeicherzelle mit niedrigem Schaltfeld, wie in Anspruch 6 beansprucht, wobei die Schritte des Aufbringens erster und zweiter magnetoresistiver Schichten ein Aufbringen erster und zweiter magnetoresistiver Schichten mit unterschiedlichen Magnetisierungen zum Schalten bei unterschiedlichen Schaltfeldern enthalten.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



10 FIG. 1



10' FIG. 2

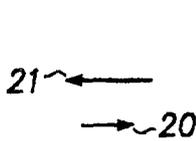


FIG. 3

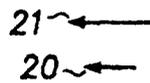


FIG. 4

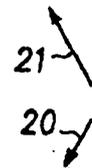


FIG. 5

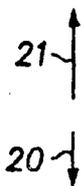


FIG. 6

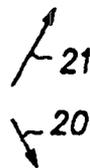


FIG. 7

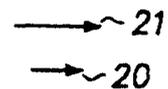


FIG. 8

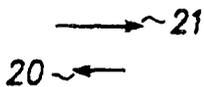


FIG. 9

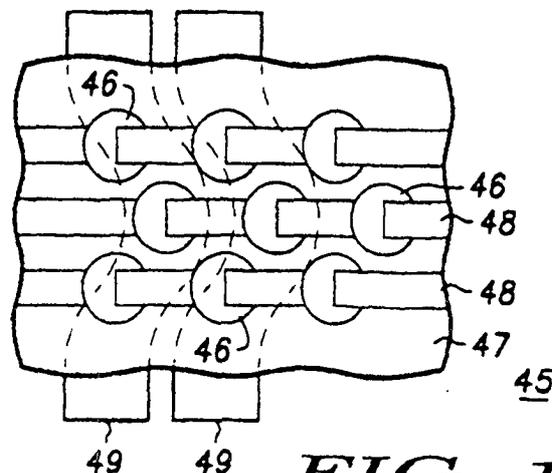


FIG. 10