



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 008 353 A1** 2005.10.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 008 353.6**

(22) Anmeldetag: **23.02.2005**

(43) Offenlegungstag: **20.10.2005**

(51) Int Cl.7: **H01L 27/22**
G11C 11/02

(30) Unionspriorität:

10/785,913 **24.02.2004** **US**

(71) Anmelder:

**International Business Machines Corp., Armonk,
N.Y., US; Infineon Technologies AG, 81669
München, DE**

(74) Vertreter:

**Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667
München**

(72) Erfinder:

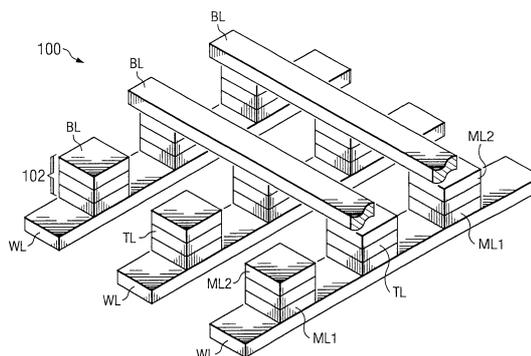
**Brown, Stephen L., Carmel, N.Y., US; Gupta,
Arunava, Tuscaloosa, Ala., US; Klostermann,
Ulrich, Fontainebleau, FR; Parkin, Stuart Stephen
Papworth, San Jose, Calif., US; Raberg, Wolfgang,
Fontainebleau, FR; Samant, Mahesh, San Jose,
Calif., US; Trouilloud, Philip, Norwood, N.J., US;
Worledge, Daniel Christopher, Poughquag, N.Y.,
US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Magnet-Tunnel-Junctions für MRAM Bauelemente**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Herstellen von MTJ Speicherzellen und derartige Strukturen. Eine Diffusionsbarriere wird zwischen eine antiferromagnetische Schicht und eine fixierte Schicht einer MTJ Speicherzelle zum Verbessern der thermischen Eigenschaften der MTJ Speicherzelle angeordnet. Die Diffusionsbarriere kann ein amorphes Material oder eine NiFe Legierung aufweisen. Ein amorphes Material kann benachbart zu einer unteren Oberfläche eine Tunnel-Junction innerhalb einer freien Schicht oder in beiden Fällen angeordnet werden. Eine MTJ Speicherzelle mit verbesserter thermischer Stabilität und verminderter Neel-Kopplung wird erzielt.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen Halbleiterspeicherbauelemente und im Besonderen Magnet-Tunnel-Junctions (MTJ's) als Speicherelemente in magnetischen Speicherbauelementen von wahlfreiem Zugriff (MRAM) und Verfahren zu deren Herstellung.

Stand der Technik

HINTERGRUND

[0002] Halbleiter werden in integrierten Schaltungen für elektronische Anwendungen, einschließlich etwa Radios, Fernseher, Mobiltelefone und Personalcomputer verwendet. Eine Art von Halbleiterbauelement stellt ein Halbleiterspeicherbauelement dar, etwa ein dynamischer Speicher mit wahlfreiem Zugriff (DRAM) oder ein Flash-Speicher, wobei beide Arten zum Speichern von Informationen verwendet werden.

[0003] Eine modernere Entwicklung bei Halbleiterspeicherbauelementen bezieht Spinelektronik ein, welche Halbleitertechnologie und magnetische Materialien und Bauelemente miteinander verbindet. Die Spins von Elektronen werden auf Grund ihres magnetischen Moments anstatt der Ladung der Elektronen zum Kennzeichnen einer „1“ oder „0“ verwendet. Ein derartiges Spinelektronikbauelement ist ein magnetisches Speicherbauelement von wahlfreiem Zugriff (MRAM) **100**, siehe **Fig. 1**, welches in verschiedenen Richtungen positionierte Leitungen (Wortleitungen WL und Bitleitungen BL), z. B. senkrecht zueinander in verschiedenen Metallschichten, enthält, wobei die Leitungen einen als magnetische Speicherzelle arbeitenden magnetischen Stapel oder eine Magnet-Tunnel-Junction (MTJ) **102** einschließen. **Fig. 1** zeigt eine Ansicht eines Teils einer Kreuzungspunkt MRAM Anordnung **100**. Das MRAM Bauelement **100** enthält einen Halbleiterwafer mit einem Werkstück (nicht dargestellt). Das Werkstück weist eine hierauf abgeschiedene erste Isolationsschicht (ebenso nicht dargestellt) und eine Mehrzahl von ersten Leitungen oder Wortleitungen WL sind innerhalb der ersten Isolationsschicht, z. B. innerhalb einer ersten Verdrahtungsebene, ausgebildet. Die Wortleitungen WL können beispielsweise Kupfer, Aluminium oder Kombinationen hieraus und/oder andere Metalle aufweisen.

[0004] In einem magnetischen Kreuzungspunkt Speicherbauelement **100** ist jede Speicherzelle oder jede Magnet-Tunnel-Junction (MTJ) **102** wie dargestellt oberhalb und angrenzend an eine Wortleitung WL angeordnet. Die MTJ **102** eines magnetoresistiven Speichers weist 3 Schichten auf: ML1, TL und ML2. Die MTJ **102** enthält eine erste magnetische Schicht ML1 oberhalb und angrenzend zur Wortleitung WL. Die erste magnetische Schicht ML1 wird oft als fixierte Schicht bezeichnet, da ihre magnetische Orientierung fixiert ist. Eine Tunnelschicht oder Tunnelbarrierschicht TL mit einer dünnen dielektrischen Schicht ist oberhalb der fixierten Schicht ML1 ausgebildet. Eine zweite magnetische Schicht ML2 ist oberhalb der Tunnelbarrierschicht TL ausgebildet. Die zweite magnetische Schicht ML2 wird oft als freie Schicht bezeichnet, da ihre magnetische Orientierung entlang einer von zwei Richtungen, abhängig vom logischen Zustand der Speicherzelle, umgeschaltet werden kann. Die erste und zweite magnetische Schicht ML1 und ML2 können beispielsweise eine oder mehrere Materialschichten aufweisen.

[0005] Jede MTJ **102** weist eine wie in **Fig. 1** dargestellte sowie oberhalb und angrenzend zur zweiten magnetischen Schicht ML2 angeordnete zweite Leitung oder Bitleitung BL auf, wobei die Bitleitung BL in einer von der Richtung der Wortleitung WL verschiedenen Richtung positioniert ist, z. B. liegen die Bitleitungen BL senkrecht zu den Wortleitungen WL. Eine Anordnung **100** von magnetischen Speicherzellen **102** weist eine Mehrzahl von parallel zueinander in einer ersten Richtung verlaufenden Wortleitungen WL, eine Mehrzahl von parallel zueinander in einer zweiten Richtung verlaufenden Bitleitungen BL, wobei die zweite Richtung von der ersten Richtung verschieden ist, und eine Mehrzahl von MTJ's **102** zwischen jeder Wortleitung WL und Bitleitung BL auf. Obwohl die Bitleitungen BL oberhalb und die Wortleitungen WL unterhalb der Anordnung **100** dargestellt sind, können die Wortleitungen WL beispielsweise alternativ hierzu oberhalb der Anordnung und die Bitleitungen BL können unterhalb der Anordnung liegen.

[0006] Eine Schicht aus erster und zweiter magnetischer Schicht ML1 und ML2 kann ein hartes magnetisches Material (der fixierten Schicht entsprechend) und die andere Schicht kann ein weiches magnetisches Material (entsprechend der freien Schicht) aufweisen, obwohl in dieser Beschreibung die erste magnetische Schicht ML1 das harte magnetische Material und die zweite magnetische Schicht ML2 das weiche magnetische Material aufweist. Der Wert des Widerstandes der Zelle oder der MTJ **102** hängt von der Orientierung des magnetischen Moments der weichen magnetischen Schicht ML2 in Bezug zum magnetischen Moment der harten ma-

netischen Schicht ML1 ab. Der Widerstand der magnetischen Speicherzelle **102** hängt von der relativen Ausrichtung des Moments ab. Der Widerstand R_c ist üblich geringer, falls die magnetischen Schichten parallele magnetische Orientierungen aufweisen. Sind beispielsweise die erste und zweite magnetische Schicht ML1 und ML2 in derselben Richtung orientiert, vergleiche **Fig. 2B**, so ist der Zellwiderstand R_c gering. Sind die erste und zweite magnetische Schicht ML1 und ML2 in entgegengesetzten Richtungen orientiert, vergleiche **Fig. 2C**, so ist der Zellwiderstand R_c hoch. Diese beiden Zustände der Zellen werden zum Speichern von digitaler Information (einer logischen „1“ oder „0“, hoher oder geringer Widerstand oder umgekehrt) verwendet.

[0007] Die harte magnetische Schicht ML1 wird gewöhnlich einmalig während der Herstellung ausgerichtet. Die Information der Zelle **102** wird in der weichen magnetischen Schicht ML2 gespeichert. Wie in **Fig. 2A** gezeigt stellen die Ströme I_{WL} und I_{BL} durch die entsprechende Wortleitung WL und Bitleitung BL das zum Speichern von Information in der weichen magnetischen Schicht ML2 notwendige magnetische Feld bereit. Die überlagerten magnetischen Felder der Ströme von Bitleitung BL und Wortleitung WL ermöglichen das Umschalten des magnetischen Moments der weichen magnetischen Schicht ML2 und ändern den Speicherzustand der Zelle **102**.

[0008] Ein Vorteil von MRAM Bauelementen verglichen mit bekannten Halbleiterspeicherbauelementen wie beispielsweise dynamischen Speicherbauelementen mit wahlfreiem Zugriff (DRAM) liegt darin, dass MRAM Bauelemente nicht flüchtig sind. Beispielsweise würde bei einem Personalcomputer (PC) bei Verwendung von MRAM Bauelementen ein langer Bootvorgang wie bei herkömmlichen PCs bei Verwendung von DRAM Bauelementen entfallen. Ebenso braucht ein MRAM Bauelement nicht hochgefahren zu werden und weist ein „Erinnerungsvermögen“ hinsichtlich der gespeicherten Daten auf (ebenso als nicht flüchtiger Speicher bezeichnet). MRAM Bauelemente können die Dichte von DRAM Bauelementen und die Geschwindigkeit von statischen Speicherbauelementen mit wahlfreiem Zugriff (SRAM) zusätzlich zur fehlenden Flüchtigkeit bereitstellen. Folglich besitzen MRAM Bauelemente das Potential, Flash-Speicher, DRAM und SRAM Bauelemente in elektronischen Anwendungen, in welchen Speicherbauelemente zukünftig erforderlich sind, zu ersetzen.

[0009] Da MRAM Bauelemente anders als herkömmliche Speicherbauelemente arbeiten, führen diese zu Herausforderungen hinsichtlich Design und Herstellung. Beispielsweise müssen die Materialien und Prozesstechniken zur Herstellung von Magnet-Tunnel-Junction (MTJ) Speicherzellen kompatibel zu konventionellen komplementären Metall-Oxid-Halbleiter (CMOS) Prozessen sein, da die MTJ Speicherzellen auf Substraten mit CMOS Schaltungen, welche zum Lesen und Schreiben des Zustandes der MTJ Speicherzellen verwendet werden, ausgebildet sind. Mangan (Mn) kann beispielsweise in einer der Schichten der unteren magnetischen Schicht ML1 als antiferromagnetische Schicht verwendet werden, die zur Austauschverschiebung der korrespondierenden ferromagnetischen Referenzschicht zum Zwecke des Fixierens ihres magnetischen Moments in einer über das Austauschverschiebungsfeld vorgegebenen Richtung verwendet wird, vergleiche hierzu US 5,650,958, „Magnetic Tunnel Junctions With Controlled Magnetic Response“, 22. Juli 1997, Gallagher et al., sowie US 5,841,692, „Magnetic Tunnel Junction Device With Antiferromagnetically Coupled Pin Layer“, 24. November 1998, Gallagher et al., welche hiermit per Referenz eingebunden werden. Bei Erwärmung auf Temperaturen oberhalb von ungefähr 350°C bzw. niedrigeren oder höheren Temperaturen als 350°C kann Mangan abhängig von der Zusammensetzung der Mangan enthaltenden Schicht in andere Schichten der MTJ Speicherzelle diffundieren und dadurch zur Verschlechterung von verschiedenen Teilen der MTJ Speicherzelle führen. Beispielsweise kann das magnetische Referenzsystem geschwächt werden oder noch wahrscheinlicher diffundiert Mangan zu oder sogar durch die Tunnelbarriere, was zu einem verminderten Magnetowiderstand und/oder erniedrigtem Widerstand und damit letztendlich zur Zerstörung der Funktionalität der MTJ Speicherzelle führt.

[0010] Ein weiteres Problem bei der MRAM Herstellung liegt in Neel-Kopplung zwischen nahegelegenen magnetischen Materialschichten. Neel-Kopplung stellt eine ferromagnetische Kopplung oder eine magnetische Wechselwirkung ausgehend von Schichten mit rauen Oberflächen dar, wobei magnetische Dipolfelder ausgehend von der ersten Oberfläche einer ferromagnetischen Schicht mit der zweiten Oberfläche einer benachbarten ferromagnetischen Schicht wechselwirken. Diese Kopplung wird in Fachkreisen ebenso als Orange-Peel Kopplung bezeichnet. Neel-Kopplung führt zu einem resistiven Speicherelement, das magnetisch asymmetrisch ist und deshalb ein Speicherzustand gegenüber dem anderen Speicherzustand bevorzugt, wodurch es schwierig wird, das Speicherbauelement zu betreiben. Bei Vorliegen von starker Neel-Kopplung erfordert die MTJ Speicherzelle möglicherweise größere Felder zum Umschalten oder Ändern ihres Zustandes.

Aufgabenstellung

[0011] Es ist wünschenswert, ein MTJ Design bereitzustellen, das ein hohes Maß an thermischer Stabilität

mit reduzierter Neel-Kopplung aufweist.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0012] Diese und weitere Probleme werden allgemein durch bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gelöst oder umgangen und technische Vorteile durch Ausführungsformen der Erfindung erzielt, welche Verfahren zum Herstellen verbesserter MTJ Speicherzellen und hierauf basierenden Strukturen bereitstellen. Die MTJ Zelle weist eine erste und eine zweite magnetische Schicht an beiden Seiten einer Tunnelbarrierschicht auf. Bei einer Ausführungsform wird eine aus einer oder mehreren dünnen Schichten eines amorphen ferromagnetischen Materials gebildete Diffusionsbarriere innerhalb oder an den Oberflächen der ersten und zweiten magnetischen Schichten einer MTJ Speicherzelle eingefügt, was zur verbesserten Leistungsfähigkeit der MTJ Zelle insbesondere hinsichtlich einer erhöhten thermischen Stabilität führt. Bei einer weiteren Ausführungsform wird eine Diffusionsbarriere zwischen eine anti-ferromagnetische Schicht und eine antiparallele Schicht einer ersten magnetischen Schicht einer MTJ Speicherzelle angeordnet. Die Diffusionsbarriere weist ein amorphes ferromagnetisches Material auf oder kann ebenso aus einer Nickel-Eisen (NiFe) Legierung wie beispielsweise Permalloy bestehen. Eine fixierte Schicht der antiparallelen Schicht kann in einer Ausführungsform eine Diffusionsbarriere aus einer NiFe Legierung aufweisen. Eine amorphe Materialschicht kann innerhalb der zweiten magnetischen Schicht oder zwischen der Tunnelbarrierschicht und der ersten magnetischen Schicht, oder beides, angeordnet sein, was zu verbesserter thermischer Stabilität und verminderter Neel-Kopplung einer MTJ Speicherzelle führt.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthält eine MTJ Speicherzelle eine anti-ferromagnetische Schicht, eine oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordnete Diffusionsbarriere und eine oberhalb der Diffusionsbarriere angeordnete antiparallele magnetische Schicht. Die antiparallele magnetische Schicht enthält eine oberhalb der Diffusionsbarriere angeordnete fixierte Schicht, einen oberhalb der fixierten Schicht angeordneten Spacer und eine oberhalb des Spacers angeordnete Referenzschicht. Eine Tunnelbarrierschicht ist oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht und eine freie magnetische Schicht oberhalb der Tunnelbarrierschicht angeordnet.

[0014] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthält eine MTJ Speicherzelle eine anti-ferromagnetische Schicht, eine oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordnete antiparallele magnetische Schicht, eine oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht angeordnete Tunnelbarrierschicht und eine oberhalb der Tunnelbarrierschicht angeordnete freie magnetische Schicht. Die freie magnetische Schicht enthält eine hierin angeordnete und von der Tunnelbarrierschicht beabstandete erste amorphe ferromagnetische Schicht.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Verfahren zum Herstellen einer MTJ Speicherzelle das Bereitstellen eines Werkstücks, Ausbilden einer anti-ferromagnetischen Schicht oberhalb des Werkstücks, Ausbilden einer Diffusionsbarrierschicht oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht und Ausbilden einer antiparallelen Schicht oberhalb der Diffusionsbarrierschicht. Das Ausbilden der antiparallelen magnetischen Schicht beinhaltet Ausbilden einer fixierten Schicht oberhalb der Diffusionsbarriere, Ausbilden eines Spacers oberhalb der fixierten Schicht und Ausbilden einer Referenzschicht oberhalb des Spacers. Eine Tunnelbarrierschicht wird oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht und eine freie magnetische Schicht wird oberhalb der Tunnelbarrierschicht ausgebildet.

[0016] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Verfahren zum Herstellen einer MTJ Speicherzelle das Bereitstellen eines Werkstücks, Ausbilden einer anti-ferromagnetischen Schicht oberhalb des Werkstücks, Ausbilden einer antiparallelen magnetischen Schicht oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht, Ausbilden einer Tunnelbarrierschicht oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht und Ausbilden einer freien magnetischen Schicht oberhalb der Tunnelbarrierschicht. Ausbilden der freien magnetischen Schicht umfasst das Ausbilden einer hierin liegenden und von der Tunnelbarrierschicht beabstandeten ersten amorphen ferromagnetischen Schicht.

[0017] Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung beinhalten das Reduzieren oder Vermeiden von Neel-Kopplung und das Verbessern der thermischen Stabilität von MTJ Speicherzellen, was zu verbesserten Bauelementausbeuten und Kosteneinsparungen führt.

[0018] Die obigen Ausführungen dienen zur breiten Erläuterung der Merkmale und technischen Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung mit dem Ziel, dass die nun folgende detaillierte Beschreibung der Erfindung besser verständlich wird. Zusätzliche Merkmale und Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung werden im

Folgenden beschrieben und sind Gegenstand der Ansprüche der Erfindung. Es sollte von einem Fachmann anerkannt werden, dass das offenbarte Konzept und spezifische Ausführungsformen unmittelbar als Basis zum Modifizieren oder Gestalten anderer Strukturen oder Prozesse bei gleicher Zielsetzung wie die Erfindung unmittelbar anwendbar sind. Ebenso sollte sich ein Fachmann bewusst sein, dass derartige gleichwertige Ausführungen nicht vom Sinn und Gültigkeitsbereich der in den beigefügten Ansprüchen definierten Erfindung abweichen.

Ausführungsbeispiel

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

[0019] Im Hinblick auf ein umfassenderes Verständnis der Erfindung und deren Vorteile wird nun Bezug zu folgenden Beschreibungen in Verbindung mit den begleitenden Abbildungen genommen:

[0020] [Fig. 1](#) zeigt eine Ansicht eines bekannten MRAM Bauelementes mit magnetischen Stapel-Speicherzellen in Matrixanordnung, wobei unterhalb und oberhalb jeder Speicherzelle angeordnete Wortleitungen und Bitleitungen zum Ansteuern der Speicherzellen dienen;

[0021] [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2C](#) zeigen eine einzelne magnetoresistive Speicherzelle und die zum Programmieren der Zelle verwendeten Ströme;

[0022] [Fig. 3](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer weniger bevorzugten Ausführungsform einer MTJ Speicherzelle;

[0023] [Fig. 4](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer MTJ Speicherzelle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, bei der eine Diffusionsbarrierschicht oberhalb einer anti-ferromagnetischen (AF) Schicht der MTJ Speicherzelle angeordnet ist;

[0024] [Fig. 5](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer MTJ Speicherzelle gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, bei der eine amorphe ferromagnetische (FM) Schicht zwischen einer freien Schicht und der MTJ Speicherzelle angeordnet ist;

[0025] [Fig. 6](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer MTJ Speicherzelle gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, bei der eine amorphe FM Schicht benachbart zu einer unteren Oberfläche einer Tunnel-Junction angeordnet ist;

[0026] [Fig. 7A–Fig. 7D](#) bis [Fig. 10A–Fig. 10D](#) zeigen experimentelle Ergebnisse zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von verschiedenen Materialschichten einer Ausführungsform der Erfindung, bei der NiFe als fixierte Schicht einer antiparallelen Schicht verwendet wird; und

[0027] [Fig. 11](#) zeigt einen graphischen Vergleich des Magnetowiderstandes bei verschiedenen Ausheiltemperaturen einer MTJ ohne Pufferschicht und MTJ's mit amorphen Pufferschichten und verbesserter thermischer Stabilität gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

[0028] Entsprechende Nummerierungen und Symbole innerhalb der verschiedenen Figuren beziehen sich im Allgemeinen auf korrespondierende Teile, sofern nicht anders gekennzeichnet. Die Figuren sind zur anschaulichen Darstellung der relevanten Aspekte der Ausführungsformen dargestellt und nicht notwendigerweise maßstabsgetreu dargestellt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0029] Die Herstellung und Verwendung der bevorzugten Ausführungsformen wird im Folgenden detailliert beschrieben. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass die Erfindung viele anwendbare erfinderische Konzepte bereitstellt, die in einer breiten Vielfalt in spezifischem Kontext ausgeführt sein können. Die beschriebenen spezifischen Ausführungsformen dienen lediglich der Illustration von spezifischen Möglichkeiten zur Herstellung und Verwendung der Erfindung und begrenzen nicht den Umfang der Erfindung.

[0030] Die Erfindung wird mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen in spezifischem Kontext, nämlich magnetische Speicherzellen eines MRAM Bauelementes, beschrieben. Ausführungsformen der Erfindung können jedoch ebenso auf weitere Ausführungen magnetischer Speicherzellen und Anwendungen magnetischer

Halbleiterbauelemente sowie auf Schreibsekköpfe und Sensoren von magnetischen Festplattenlaufwerken angewandt werden.

[0031] [Fig. 3](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer weniger bevorzugten Ausführung einer MTJ Speicherzelle **202**. Die MTJ Speicherzelle **202** weist wie dargestellt eine erste magnetische Schicht ML1, eine Tunnelbarrierenschicht (TL) oberhalb der ersten magnetischen Schicht ML1 und eine zweite magnetische Schicht ML2 oberhalb der Tunnelbarrierenschicht TL auf. Die erste magnetische Schicht ML1 weist eine anti-ferromagnetische (AF) Schicht **204** auf, die mit einer darunter liegenden, nicht dargestellten Bitleitung gekoppelt sein kann. Die erste magnetische Schicht ML1 weist wie gezeigt eine antiparallele (AP) Schicht **216** oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht **204** auf.

[0032] Die antiparallele Schicht **216** weist eine fixierte Schicht **206** oberhalb und benachbart zur anti-ferromagnetischen Schicht **204** auf. Die anti-ferromagnetische Schicht **204** fixiert die magnetische Orientierung der fixierten Schicht **206**. Die fixierte Schicht **206** weist ein ferromagnetisches Material auf. Die antiparallele Schicht **216** enthält eine Spacerschicht **208** mit einer dünnen Schicht aus nichtmagnetischem Material wie beispielsweise Ruthenium (Ru), die oberhalb der fixierten Schicht **206** angeordnet ist. Die antiparallele Schicht **216** enthält eine Referenzschicht **210** mit einem ferromagnetischen Material oberhalb der Spacerschicht **208**. Die Spacerschicht **208** führt zur anti-ferromagnetischen Kopplung der Referenzschicht **210** sowie zur Ausrichtung des ferromagnetischen Momentes von der Referenzschicht **210** sowie von der ersten magnetischen Schicht ML1 in einer bestimmten Richtung. Die Ru Spacerschicht **208** vermittelt die Kopplung der fixierten Schicht **206** mit der Referenzschicht **210**.

[0033] Die Spacerschicht **208** ist vorteilhaft, da im Falle eines strukturierten MTJ **202** Materialstapels das magnetostatische Streufeld in der ersten magnetischen Schicht ML1 im Vergleich zu einer aus einer einzelnen ferromagnetischen Schicht ausgebildeten ersten magnetischen Schicht reduziert wird, wie in US 5,841,692 beschrieben. Dieses Streufeld beeinflusst die magnetischen Umschalteigenschaften der freien Schicht oder der zweiten magnetischen Schicht ML2 auf der gegenüberliegenden Seite der Tunnelbarrierenschicht TL, die typischerweise Al_2O_3 aufweist. Eine MTJ **202** mit einer antiparallelen Schicht **216** ist vorteilhaft, da die magnetischen Momente der fixierten Schicht **206** und der fixierten Schicht **210** kompensiert werden können, so dass kein magnetisches Feld auf die freie Schicht ML2 einwirkt oder zur Kompensation eines möglicherweise vorhandenen Neel-Feldes verwendet werden kann; folglich weist die freie Schicht ML2 keine magnetische Vorzugsorientierung entlang einer Richtung oder hierzu entgegengesetzten Richtung auf und kann von einem Speicherzustand in den anderen Speicherzustand über dieselbe Stärke des magnetischen Feldes umgeschaltet werden.

[0034] Ein Problem der in [Fig. 3](#) gezeigten MTJ Speicherzelle **202** liegt darin, dass eine antiparallele Referenzschicht **216** ungünstige thermische Stabilität aufweist, wodurch die MTJ Speicherzelle **202** inkompatibel hinsichtlich der Verwendung in CMOS Prozessen wird. Der Magnetowiderstand von Magnet-Tunnel-Junctions (MTJ) verschlechtert sich durch thermische Ausheilung. Wird beispielsweise die MTJ Speicherzelle **202** während nachfolgender Prozessschritte bei der Herstellung einer MRAM Anordnung erhitzt, so kann die Leistungsfähigkeit der MTJ Speicherzelle **202** nachteilig durch Ausdiffusion von Materialien der anti-ferromagnetischen Schicht **204** in darüber liegende Materialschichten der MTJ Speicherzelle **202** beeinflusst werden.

[0035] Einer der wichtigsten Ursachen der thermischen Instabilität von MTJ Speicherzellen **202** liegt in der Diffusion und nachfolgenden Ansammlung von Mn an der Grenzfläche von Tunnelbarriere und Ferromagnet (FM) oder im Falle einer Struktur vom antiparallelen (AP) fixierten Typ an dem AP-koppelnden Spacer **208**. Die Quelle des Mn ist der Antiferromagnet (AF) zur magnetischen Härtung einer der FM Schichten mittels Austauschverschiebung. Viele nützliche anti-ferromagnetische Materialien und zwar diejenigen mit hohen Blocktemperaturen und großen Austauschverschiebungsenergien werden aus Legierungen von Mangan mit einem weiteren Element oder Elementen gebildet. Beispielsweise kann die antiferromagnetische Schicht **204** PtMn, oder alternativ hierzu IrMn, FeMn, CrPtMn oder weitere Mangan enthaltende Materialien aufweisen. Bei Erwärmung auf ungefähr 320°C oder darüber während einer in CMOS Herstellungsprozessen typischerweise notwendigen Zeitdauer kann eine Mangan-Diffusion aus der anti-ferromagnetischen Schicht **204** in die Spacerschicht **208** der antiparallelen Schicht **216** hervorgerufen werden, wodurch die Dicke der Ru Spacerschicht **208** reduziert oder die durch die Schicht **208** bereitgestellte AP Kopplung geschwächt wird und die Vermittlung der Kopplung zwischen fixierter Schicht **206** und Referenzschicht **210** durch die Ru Spacerschicht **208** zerstört wird. Das Mn kann ebenso zur Tunnelbarrierenschicht TL diffundieren. Die Mn Diffusion kann zum Verlust der fixierten Orientierung der ersten magnetischen Schicht ML1 führen. Folglich kann die Mn Diffusion die Kopplung durch den antiparallelen Spacer **208** zerstören oder abschwächen, was zur Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften der MTJ Speicherzelle **202**, einer Unmöglichkeit des Speicherns von Information in die

MTJ Speicherzelle **202** und zu einem Fehler der MTJ Speicherzelle **202** führt.

[0036] Ausführungsformen der Erfindung erzielen technische Vorteile durch Verbesserung der thermischen Stabilität von MTJ Speicherzellen. [Fig. 4](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer MTJ Speicherzelle **302** eines MRAM Bauelementes **300** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, wobei eine Diffusionsbarrierschicht **326** oberhalb einer anti-ferromagnetischen (AF) Schicht **304** der MTJ Speicherzelle **302** zur Vermeidung von Diffusion von Mangan in darüber liegende Materialschichten angeordnet ist.

[0037] Ein Prozessablauf zur Herstellung der MTJ Speicherzelle **302** wird im Folgenden beschrieben. Ein Werkstück **320** wird bereitgestellt. Das Werkstück **320** kann beispielsweise ein Halbleitersubstrat aus Silizium oder anderen Halbleitermaterialien enthalten, das von einer isolierenden Schicht bedeckt wird. Das Werkstück **320** kann ebenso weitere in einem Front end of line (FEOL) Herstellungsverfahren ausgebildete aktive Komponenten oder Schaltungen enthalten, welche nicht dargestellt sind. Das Werkstück **320** kann beispielsweise Siliziumoxid oberhalb einkristallinen Siliziums aufweisen. Das Werkstück **320** kann weitere leitfähige Schichten oder weitere Halbleiterelemente, z. B. Transistoren, Dioden, usw. enthalten. Verbindungshalbleiter, GaAs, InP, Si-Ge oder SiC um einige Beispiele zu nennen, können anstatt von Silizium verwendet werden.

[0038] Eine erste Leitung **322** wird oberhalb des Werkstücks **320** ausgebildet. Die erste Leitung **322** kann mit Hilfe eines entfernenden Verfahrens ausgebildet werden; z. B. wird ein leitfähiges Material oberhalb des Werkstücks **320** abgeschieden und das leitfähige Material wird lithographisch zur Ausbildung der ersten Leitung **322** strukturiert. Die erste Leitung **322** kann beispielsweise eine Wortleitung einer Kreuzungspunkt MRAM Anordnung mit einer Mehrzahl von Wortleitungen aufweisen. Ein isolierendes Material kann zwischen der Mehrzahl der ersten Leiterbahnen **322** abgeschieden werden, was nicht dargestellt ist. Die erste Leiterbahn **322** kann ebenso mit Hilfe von Damascene-Verfahren, z. B. durch Abscheiden eines isolierenden Materials, Strukturieren des isolierenden Materials mit Trenches und Abscheiden eines leitfähigen Materials innerhalb der Trenches ausgebildet werden.

[0039] Eine Mehrzahl von Materialschichten **324**, **304**, **326**, **316**, TL, **314**, **328**, **330** für einen MTJ Stapel werden oberhalb der ersten Leiterbahn **322** abgeschieden und der gesamte MTJ Stapel wird vorzugsweise durch einen einzelnen Lithographieschritt zur Ausbildung einer MTJ Speicherzelle **302** strukturiert. Die Materialschichten **324**, **304**, **326**, **316**, TL, **314**, **328**, **330** können beispielsweise nacheinander durch Magnetronspütern unter 3×10^{-3} Torr abgeschieden werden. Die Materialschichten **324**, **304**, **326**, **316**, TL, **314**, **328**, **330** können alternativ hierzu beispielsweise durch Ionenstrahlabscheidung oder einer Kombination aus Magnetronspütern und Ionenstrahlabscheidung abgeschieden werden.

[0040] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zuerst eine Basisschicht **324** oberhalb der ersten Leiterbahnen **322** angeordnet. Die Basisschicht **324** weist vorzugsweise ungefähr 50 Å TaN auf. Die Basisschicht **324** kann alternativ hierzu eine Doppelschicht aus ungefähr 50 Å TaN und ungefähr 10–50 Å Ta oberhalb der TaN Schicht aufweisen, wie in US 6,518,588, „Magnetic Random Access Memory with Thermally stable Magnetic Tunnel Junction Cells“, 11. Februar 2003, Parkin et al. beschrieben, welche hiermit per Referenz eingebunden wird. Die Basisschicht **324** kann alternativ hierzu beispielsweise weitere Materialien und Dimensionen aufweisen. Die Basisschicht **324** kann beispielsweise als Saatschicht für die anti-ferromagnetische Schicht **304** und für weitere Materialien, die später oberhalb der Basisschicht **324** ausgebildet werden, dienen.

[0041] Eine anti-ferromagnetische Schicht **304** wird oberhalb der Basisschicht **324** gebildet. Die anti-ferromagnetische Schicht **304** kann beispielsweise ungefähr 80–300 Å PtMn aufweisen. Die anti-ferromagnetische Schicht **304** kann alternativ hierzu beispielsweise weitere Dimensionen und weitere anti-ferromagnetische Materialien wie IrMn, FeMn, CrPtMn oder weitere Mangan enthaltende Materialien aufweisen.

[0042] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird eine Diffusionsbarriere **326** oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht **304** wie dargestellt angeordnet. Die Diffusionsbarriere **326** oder Pufferschicht weist bei einer Ausführungsform vorzugsweise ein amorphes ferromagnetisches Material auf. Die allgemeinen Eigenschaften einer derartigen amorphen ferromagnetischen Schicht sind vorzugsweise elektrische Leitfähigkeit und Ferromagnetismus mit einer Curie-Temperatur oder einer magnetischen Ordnungstemperatur deutlich oberhalb der Betriebstemperatur des Bauelementes **300**. Die Diffusionsbarrierschicht **326** ist vorzugsweise ausreichend elektrisch leitfähig, so dass durch diese Schicht **326** Ströme zum Lesen der MTJ Speicherzelle **302** durchgeleitet werden können. Folglich ist der Widerstand der Diffusionsbarrierschicht **326** bezüglich Stromflusses senkrecht zu dieser Schicht vorzugsweise erheblich kleiner als der Widerstand der Tunnelbarrierschicht TL bei der Betriebsspannung der MTJ Speicherzelle **302**, denn sonst wird das Lesesignal erheblich reduziert.

[0043] Hinsichtlich der amorphen Beschaffenheit der Diffusionsbarriere **326** in Bezug auf Ausführungsformen der Erfindung wird die Diffusionsbarrierschicht **326** als amorph definiert, falls dieser eine offensichtlich kristalline körnige Struktur, z. B. durch Untersuchen der Struktur der Diffusionsbarrierschicht **326** mit Hilfe von Querschnitts-Transmissionselektronenmikroskopie ersichtlich, fehlt. Im Allgemeinen wird die amorphe ferromagnetische Schicht **326** aus Legierungen von überwiegend einem oder mehreren der 3d Übergangsmetall-Ferromagnete wie beispielsweise Fe, Co und Ni mit geringeren Mengen von glasbildenden Elementen wie Bor, Silizium oder Phosphor und 4d oder 5d Übergangsmetallen wie Zr, Nb und Hf gebildet.

[0044] Beispielsweise kann die Diffusionsbarriere **326** eine auf amorphem CoFe basierte Legierung wie mit B dotiertes CoFe aufweisen. Die Zusammensetzung dieser Schicht beträgt beispielsweise ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B, wobei die CoFe Legierung ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist. Bei CoFeB Legierungen kann der B Anteil im Bereich von ungefähr 10–30 Atom% liegen um zu einem Material zu gelangen, das beispielsweise sowohl amorph als auch ferromagnetisch ist. Die Diffusionsbarriere **326** kann ebenso weitere auf CoFe basierte Materialien wie beispielsweise CoFeMoSiB aufweisen.

[0045] Die Diffusionsbarriere **326** kann einen amorphen Ferromagnet aufweisen wie: amorphe Legierungen von magnetischen 3d Übergangselementen ($T = \text{Fe, Co oder Ni}$), die mit einem Halbmetall ($M = \text{B, P, Si}$) ausgebildet sind, beispielsweise als $T_{1-x}M_x$ mit ungefähr $15 < x < \text{ungefähr } 30\%$, z. B. $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$, $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$, $\text{Co}_{74}\text{Fe}_5\text{B}_{18}\text{Si}_3$, usw.; amorphe Legierungen von magnetischen 3d Übergangselementen ($T = \text{Fe, Co oder Ni}$), die mit Übergangsmetallen vom 4d oder 5d Typ ($\text{ET} = \text{Zr, Nb, Hf}$) ausgebildet sind, beispielsweise als $T_{1-x}\text{ET}_x$ mit ungefähr $5 < x < \text{ungefähr } 15\%$, z. B. $\text{Co}_{90}\text{Zr}_{10}$, $\text{Fe}_{84}\text{Nb}_{12}\text{B}_4$, $\text{Co}_{82}\text{Nb}_{14}\text{B}_4$ usw.; oder amorphe Legierungen von magnetischen 3d Übergangselementen ($T = \text{Fe, Co oder Ni}$), die mit Seltenerdmaterialien (R) und Halbmetallen (M) ausgebildet sind, beispielsweise als $T_xM_yR_{1-x-y}$ mit ungefähr $75 < x < 90\%$ und $0 < y < 10\%$, z. B. $\text{Co}_{80}\text{Gd}_{20}$, $\text{Fe}_{75}\text{Tb}_{25}$ usw., obwohl alternativ hierzu die Diffusionsbarriere **326** weitere Materialien aufweisen kann. Amorphe Materialien wirken als Diffusionsbarrieren, da das Fehlen von Kristallinität zu einem Nichtvorhandensein von Korngrenzen führt. Höhere atomare Diffusion wird oft entlang von Korngrenzen verglichen mit Volumendiffusion in kristallinen Schichten festgestellt.

[0046] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Diffusionsbarriere **326** vorzugsweise eine NiFe Legierung wie Permalloy auf, die ebenso als Diffusionsbarriere wirkt und/oder weniger anfällig gegen Mn Diffusion ist. Bei dieser Ausführungsform weist die NiFe Legierung der Diffusionsbarriere **326** vorzugsweise eine kubisch flächenzentrierte Kristallstruktur auf. Die NiFe Legierung weist beispielsweise vorzugsweise ungefähr 60–90 Atom% Ni und ungefähr 10–40 Atom% Fe auf, im Besonderen ungefähr 75–85 Atom% Ni und ungefähr 15–25 Atom% Fe. In einer Ausführungsform weist die Diffusionsbarriere **326** beispielsweise eine Legierung mit ungefähr 80 Atom% Ni und ungefähr 20 Atom% Fe auf.

[0047] Die Diffusionsbarriere **326** weist vorzugsweise eine Dicke von ungefähr 20 Å oder weniger, im Besonderen von ungefähr 5 Å, auf, obwohl die Diffusionsbarriere **326** beispielsweise weitere Dimensionen annehmen kann. Die Diffusionsbarriere **326** verhindert ein Diffundieren von darunter liegenden Materialien wie Mn der anti-ferromagnetischen Schicht **304** in die Materialschichten **306**, **308** oder **310** oberhalb der Diffusionsbarriere **326** bei hohen Temperaturen, wodurch die thermische Stabilität der MTJ Speicherzelle **302** verbessert wird.

[0048] Die antiparallele Schicht **316** wird auf der Diffusionsbarriere wie gezeigt ausgebildet. Die antiparallele Schicht **316** kann beispielsweise CoFe/Ru/CoFe, CoFe/Ru/NiFe oder Kombinationen hieraus aufweisen. Im Besonderen weist die antiparallele Schicht **316** vorzugsweise eine oberhalb und benachbart zur anti-ferromagnetischen Schicht **304** angeordnete fixierte Schicht **306** auf. Die fixierte Schicht **306** weist beispielsweise ungefähr 20 Å eines ferromagnetischen Materials wie CoFe auf, obwohl die fixierte Schicht **306** alternativ hierzu beispielsweise eine CoFe Legierung oder NiCoFe aufweisen kann. In einer Ausführungsform kann die fixierte Schicht **306** eine NiFe Legierung wie Permalloy aufweisen. Die antiparallele Schicht **316** enthält eine Spacerschicht **308** mit einer dünnen Schicht aus nichtmagnetischem Material wie Ru, die oberhalb der fixierten Schicht **306** angeordnet ist. Die Spacerschicht **308** kann beispielsweise eine Dicke von ungefähr 4–11 Å oder weniger aufweisen, sowie in einer Ausführungsform ungefähr 15 Å oder weniger. Die antiparallele Schicht **316** enthält eine Referenzschicht **310** mit einem oberhalb der Spacerschicht **308** angeordneten ferromagnetischen Material. Die Referenzschicht **310** kann beispielsweise 20 Å ferromagnetischen Materials wie CoFe aufweisen, obwohl die Referenzschicht **310** alternativ hierzu beispielsweise NiFe oder NiFeCo aufweisen kann. Die fixierte Schicht **306** bestimmt die magnetische Ausrichtung der Referenzschicht **310**. Die antiparallele Schicht **316** wird hierin ebenso als Referenzsystem bezeichnet.

[0049] Bei einer Ausführungsform wird keine Diffusionsbarriere **326** verwendet und die fixierte Schicht **306** weist eine NiFe Legierung wie Permalloy auf. Bei dieser Ausführungsform wirkt die fixierte Schicht **306** als fi-

xierte Schicht der antiparallelen Schicht **316** und ebenso als Diffusionsbarriere. Bei einer weiteren Ausführungsform wird keine Diffusionsbarriere **326** verwendet und die fixierte Schicht **306** weist ein amorphes ferromagnetisches Material, wie beispielsweise im Rahmen der oben beschriebenen Materialien der Diffusionsbarriere **326** beschrieben, auf. Bei dieser Ausführungsform wirkt die fixierte Schicht als fixierte Schicht der antiparallelen Schicht **316** und ebenso als Diffusionsbarriere.

[0050] Eine Tunnelbarrierenschicht TL wird auf der antiparallelen Schicht **316** ausgebildet. Die Tunnelbarrierenschicht TL weist bei einer Ausführungsform vorzugsweise ungefähr 10–20 Å Al_2O_3 auf, obwohl die Tunnelbarrierenschicht TL alternativ hierzu beispielsweise weitere Isolatoren und Dimensionen aufweisen kann. Die Tunnelbarrierenschicht TL kann durch Abscheiden einer dünnen Al Schicht und deren Oxidation mit einem oder mehreren Prozessschritten ausgebildet werden. Beispielsweise kann die Tunnelbarrierenschicht TL durch Oxidation der Al Schicht mit Hilfe eines Sauerstoffplasmas während ungefähr 30–240 Sekunden unter Anwesenheit von ungefähr 0.1 Torr Sauerstoff ausgebildet werden oder auch in molekularem oder atomarem Sauerstoff oxidiert werden. Die Oxidationsdauer und Bedingungen werden entsprechend zur Dicke der Aluminiumschicht variiert.

[0051] Eine freie Schicht **314** wird über der Tunnelbarrierenschicht TL ausgebildet. Die freie Schicht weist vorzugsweise ein weiches magnetisches Material auf. Die freie Schicht **314** kann beispielsweise NiFe, CoFe, CoFe basierte Legierungen, CoFeB oder weitere amorphe ferromagnetische Legierungsmaterialien aufweisen. Die freie Schicht **314** kann beispielsweise eine Dicke von ungefähr 15–100 Å aufweisen, obwohl die freie Schicht **314** alternativ hierzu weitere Dimensionen einnehmen kann. Die freie Schicht **314** kann beispielsweise eine einzelne Schicht, eine Doppelschicht wie CoFe/CoFeB oder CoFe/NiFe oder CoFe/NiFeB oder eine antiparallele Schicht mit zwei ferromagnetischen Materialien, die durch einen nichtmagnetischen Spacer wie das für die antiparallele Schicht **316** beschriebene Ru getrennt und gekoppelt sind, aufweisen. In einer Ausführungsform weist die freie Schicht **314** eine antiparallele Schicht mit CoFe/Ru/CoFe auf. In einer weiteren Ausführungsform kann die freie Schicht **314** beispielsweise ungefähr 20–40 Å CoFeB an beiden Seiten eines Ru Spacers mit einer Dicke von ungefähr 3–30 Å angeordnet aufweisen. Die Ru Schicht der freien Schicht **314** kann beispielsweise eine von der Dicke des Ru Spacers der antiparallelen Schicht **316** verschiedene Dicke einnehmen.

[0052] In [Fig. 4](#) ist eine Deckschicht **328** oberhalb der freien Schicht **314** gezeigt. Die Deckschicht **328** weist beispielsweise vorzugsweise TaN auf, obwohl die Deckschicht **328** alternativ hierzu beispielsweise weitere inerte Materialien wie Ta, Ru oder dünne Schichten aus Al_2O_3 aufweisen kann. Die Deckschicht **328** weist vorzugsweise eine Dicke von ungefähr 10–100 Å auf, obwohl die Deckschicht **328** alternativ hierzu weitere Dimensionen einnehmen kann. Die Deckschicht **328** kann beispielsweise durch reaktives Sputtern von Ta in einer Ar + N_2 Gasmischung ausgebildet werden. Die gesamte Dicke der Schichten **324**, **304**, **326**, **316**, TL, **314**, **328** der MTJ Speicherzelle **302** beträgt ungefähr 300–500 Å.

[0053] Die Diffusionsbarriere **326** gibt der MTJ Speicherzelle **302** thermische Stabilität, indem sie Diffusion von Materialien wie Mn der anti-ferromagnetischen Schicht **304** in die antiparallele Schicht **316** verhindert. Anordnen einer Diffusionsbarriere **326** in einem antiparallelen Referenz-Tunnelmagnetowiderstandsstapel (TMR), wie die antiparallele Schicht **316** der MTJ Speicherzelle **302**, verbessert erheblich die magnetische und elektrische Leistungsfähigkeit der MTJ Speicherzelle **302**, insbesondere bei höheren Temperaturen, z. B. bei ungefähr 350°C oder höher und ermöglicht damit eine CMOS Prozesskompatibilität der MTJ Speicherzelle **302**.

[0054] Weist die Diffusionsbarriere **326** ein amorphes Material auf, so reduziert die Diffusionsbarriere **326** ebenso Neel-Kopplung durch Bereitstellen einer glatten Oberfläche, wodurch die Leistungsfähigkeit der Tunnelbarrierenschicht TL vergrößert wird. Die glatte Diffusionsbarriere **326** verursacht eine glattere Oberfläche der antiparallelen Schicht **316** und ebenso der Tunnelbarrierenschicht TL. Die verbesserte Glätte der Tunnelbarrierenschicht ermöglicht das Ausbilden von dünneren, glatteren und reproduzierbareren Tunnelbarrierenschichten (hinsichtlich der Fertigbarkeit), wodurch die magnetoresistiven (MR) und Widerstandsbereichs (RA)-Eigenschaften der MTJ Speicherzelle **302**, im weiteren Verlauf in Bezug zu Tabellen 1 und 2 beschrieben, verbessert wird. Glatte Oberflächen verbessern ebenso die thermische Stabilität der Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle.

[0055] Ein weiteres Problem, das in einer Speicherzelle **202** auftreten kann, vergleiche hierzu [Fig. 3](#), liegt darin, dass Neel-Kopplung zwischen der ersten magnetischen Schicht ML1 und der zweiten magnetischen Schicht ML2 wegen der Oberflächenrauigkeit der Tunnelbarrierenschicht TL auftreten kann. Glätten der Oberfläche einer Tunnelbarrierenschicht TL führt folglich zu einer reduzierten Neel-Kopplung. Die Diffusionsbarriere **326** verbessert die Glätte von nachfolgend ausgebildeten Schichten **316** und TL, wie soeben beschrie-

ben. Zusätzlich hierzu und in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung kann die Oberfläche der Tunnelbarrierschicht TL der MTJ Speicherzelle **302** aus [Fig. 4](#) zudem geglättet werden, indem ein amorphes Material zwischen die Tunnelbarrierschicht TL und dem Spacer der antiparallelen Schicht, vergleiche [Fig. 6](#), angeordnet wird, was in der folgenden Beschreibung weiter ausgeführt wird. Folglich kann die MTJ Speicherzelle **302** mit einer Diffusionsbarriere **326** zwischen der anti-ferromagnetischen Schicht **304** und der fixierten Schicht **306**, wie in [Fig. 4](#) gezeigt, zusätzlich durch Einschluss einer amorphen Materialschicht auf einer Oberseite der antiparallelen Schicht **316** benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL verbessert werden, wodurch Neel-Kopplung (nicht in [Fig. 4](#) dargestellt, siehe [Fig. 6](#)) reduziert oder vermieden wird, was im weiteren Verlauf der Beschreibung erläutert wird. Beispielsweise kann die Referenzschicht **310** ein amorphes Material aufweisen.

[0056] Im Allgemeinen kann die Leistungsfähigkeit der MTJ **302** in Bezug zu ihrer thermischen Stabilität und ihrer magnetischen sowie Magneto-Transporteigenschaften durch Einfügen von einer oder mehreren Diffusionsbarrierschichten verbessert werden, beispielsweise in Form von dünnen amorphen ferromagnetischen Materialschichten an verschiedenen Positionen innerhalb des fixierten Schichtstapels aus der antiparallelen Schicht **316** sowie oberhalb und/oder unterhalb hiervon. Folglich kann eine oder beide der ferromagnetischen Schichten mit der AP Schicht, **306** und **310**, durch eine dünne amorphe ferromagnetische Schicht ersetzt werden oder eine Diffusionsschicht kann an der Ober- oder Unterseite von einer der Schichten **306** und **310** oder an einer Position innerhalb des Inneren von einer oder beiden Schichten **306** und **310** eingefügt werden. Beispielsweise kann es im Hinblick auf höchste Tunnelmagnetowiderstandswerte von Vorteil sein, die amorphe Diffusionsbarrierschicht nicht benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL anzuordnen, sondern von dieser Grenzfläche durch eine Dicke von ungefähr 4 oder mehr Angström entfernt, was im weiteren Verlauf beschrieben wird. Ebenso können eine oder mehrere Diffusionsbarrieren an den Ober- oder Unterseiten der freien Schicht oder im Innern der freien Schicht **314**, wie weiter unten beschrieben, angeordnet werden.

[0057] Im Besonderen kann eine amorphe Materialschicht innerhalb der freien Schicht **314** (nicht dargestellt in [Fig. 4](#), siehe [Fig. 5](#)) angeordnet werden, was ebenso im weiteren Verlauf der Beschreibung erläutert wird. Auch kann eine amorphe Materialschicht alternativ hierzu an einer Oberseite der antiparallelen Schicht **316** benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL ([Fig. 6](#)) und eine amorphe Materialschicht innerhalb der freien Schicht **314** ([Fig. 5](#)) zusätzlich zur Verwendung der Diffusionsbarriere **325** angeordnet werden.

[0058] [Fig. 5](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer MTJ Speicherzelle **402** gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, wobei eine amorphe ferromagnetische (FM) Schicht **440** innerhalb einer freien Schicht **442** der MTJ Speicherzelle **402** angeordnet ist. Entsprechende Ziffern dienen der Beschreibung der in [Fig. 4](#) dargestellten verschiedenen Elemente. Um Wiederholungen zu vermeiden, wird jede im Diagramm gezeigte Referenznummer nicht wiederholt im Detail beschrieben. Vielmehr werden ähnliche Materialien x02, x04, x06, x08 usw. vorzugsweise für die gezeigten Materialschichten verwendet, wie in Bezug zu [Fig. 4](#) beschrieben, wobei in [Fig. 4](#) $x = 3$ und in [Fig. 5](#) $x = 4$ entspricht. Beispielsweise werden die bevorzugten und alternativen Materialien und Dimensionen der anti-ferromagnetischen Schicht **304** aus der Beschreibung der [Fig. 4](#) ebenso vorzugsweise für die anti-ferromagnetische Schicht **404** in [Fig. 5](#) verwendet.

[0059] Bei dieser Ausführungsform wird nach der Ausbildung der Tunnelbarrierschicht TL eine freie Schicht **442** mit einem amorphen Material **440** über der Tunnelbarrierschicht TL ausgebildet. Beispielsweise wird ein magnetisches Material **441** wie CoFe oberhalb der Tunnelbarrierschicht TL abgeschieden, ein amorphes Material **442** wird oberhalb des magnetischen Materials **441** und ein magnetisches Material **443** wird oberhalb des amorphen Materials **442** abgeschieden. Das amorphe Material **440** weist beispielsweise vorzugsweise eine Dicke von 50 Å oder weniger auf, obwohl alternativ hierzu das amorphe Material **440** weitere Dimensionen einnehmen kann. Das amorphe Material **440** oder die freie Schicht **442** können beispielsweise CoFe oder Ni in Kombination mit glasbildenden Elementen wie B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder Kombinationen hieraus aufweisen. Die Auswahl der glasbildenden Elemente wird durch die notwendige thermische Stabilität der resultierenden MTJ Zelle in Verbindung mit den notwendigen Schalteigenschaften der freien Schicht bestimmt. Folglich kann es von Vorteil sein, Nichtglaselemente aus Seltenerdelementen zu verwenden, welche die freie Schicht erheblich magnetisch härten können. Ebenso kann beispielsweise auf die magnetischen Materialien **441** und **443** verzichtet werden und die freie Schicht **442** kann das amorphe Material **440** in einer Ausführungsform aufweisen.

[0060] Die Verwendung eines amorphen Materials **440** ist bei Verwendung in der ferromagnetischen Schicht **442** einer MTJ Speicherzelle **402** von Vorteil, da das Fehlen einer kristallinen Struktur des amorphen Materials **440** zu reduzierter oder nahezu nicht vorhandener magneto-kristalliner Anisotropie führt. Dies führt zu erhöhter Reproduzierbarkeit des magnetischen Schaltens des magnetischen Moments der freien Schicht **442**, da die

Eigenschaften von andernfalls ähnlich großen und ähnlich geformten MTJ Speicherzellen nicht durch die voraussichtlich verschiedene Anzahl und Verteilung von kristallinen Korngrößen von kristallinen Materialien beeinflusst werden. Diese Eigenschaften verbessern die magnetischen Schalteigenschaften der MTJ Speicherzelle **402** mit einem amorphen Material **440** in der freien Schicht **442**.

[0061] Die MTJ Speicherzelle **402** kann ebenso eine optionale Diffusionsbarriere zwischen der fixierten Schicht **406** und der anti-ferromagnetischen Schicht **404** aufweisen (in [Fig. 5](#) nicht dargestellt; siehe [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#)). Die Diffusionsbarriere kann beispielsweise ein amorphes Material oder eine NiFe Legierung und dieselben Materialien und Dimensionen wie im Falle der in [Fig. 4](#) beschriebenen Diffusionsbarriere **326** aufweisen.

[0062] [Fig. 6](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer MTJ Speicherzelle **502** gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, wobei eine amorphe ferromagnetische Schicht **550** benachbart zur Unterseite der Tunnelbarrierschicht TL angeordnet ist. Entsprechende Ziffern werden wieder für die in [Fig. 4](#) beschriebenen verschiedenen Elemente verwendet und um Wiederholungen zu vermeiden wird jede in dem Diagramm dargestellte Referenznummer nicht nochmals detailliert beschrieben. Stattdessen werden vergleichbare Materialien x02, x04, x06, x08 usw. vorzugsweise für die gezeigten Materialschichten verwendet, wie hinsichtlich [Fig. 4](#) beschrieben, wobei x = 3 in [Fig. 4](#) und x = 5 in [Fig. 6](#) entspricht. Beispielsweise werden die bevorzugten und weiteren Materialien und Dimensionen der anti-ferromagnetischen Schicht **304** aus der Beschreibung der [Fig. 4](#) ebenso vorzugsweise für die anti-ferromagnetische Schicht **504** in [Fig. 6](#) verwendet.

[0063] In der in [Fig. 6](#) gezeigten Ausführungsform enthält die Referenzschicht **552** der antiparallelen Schicht **554** ein zur Tunnelbarrierschicht TL unmittelbar benachbartes und angrenzendes amorphes Material **550**. Obwohl zwei Schichten **510** und **550** in [Fig. 6](#) dargestellt sind, kann die Referenzschicht **552** eine einzelne Schicht aus amorphem Material **550** mit ungefähr 5 bis 30 Å einer CoFe basierten Legierung aufweisen. Beispielsweise kann die Referenzschicht **552** ein amorphes Material **550** wie CoFeB enthalten. Alternativ hierzu kann die Referenzschicht **552** in einer weiteren Ausführungsform beispielsweise eine Doppelschicht mit einer ersten Schicht aus CoFe **510** und einer zweiten Schicht aus amorphem Material **550** wie die in [Fig. 4](#) beschriebenen amorphen Materialien der Diffusionsbarriere **326** aufweisen, die oberhalb der ersten Schicht aus CoFe **510** und benachbart und angrenzend zur Tunnelbarrierschicht TL wie gezeigt angeordnet sind. Die Referenzschicht **552** kann ebenso drei oder mehr Schichten mit wenigstens der Oberschicht **550** benachbart und angrenzend zur Tunnelbarrierschicht TL aufweisen, wobei die Oberschicht **550** vorzugsweise ein amorphes Material aufweist. Die amorphe Schicht **550** kann alternativ hierzu nicht benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL sein, sondern an einer beliebigen Stelle innerhalb der Schicht **552** liegen und die amorphe Schicht **550** kann beispielsweise an beiden Seiten von weiteren ferromagnetischen Schichten aus CoFe umgeben sein (nicht dargestellt).

[0064] Das amorphe Material **550** kann beispielsweise Co, Fe oder Ni in Kombination mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder Kombinationen hieraus aufweisen. Das amorphe Material **550** weist vorzugsweise eine Dicke von ungefähr 50 Å oder weniger auf, obwohl das amorphe Material **550** alternativ hierzu weitere Dimensionen einnehmen kann. Wird ein amorphes Material **550** benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL angeordnet, so zeigen experimentelle Ergebnisse, dass eine MTJ Speicherzelle **502** mit nahezu fehlender Neel-Kopplung erzielt werden kann.

[0065] Experimente haben bei der Verwendung der Diffusionsbarrierschicht und der amorphen ferromagnetischen Materialschichten in einer wie hierin beschriebenen MTJ Speicherzelle synergistische Effekte gezeigt. Beispielsweise führt das glattere Wachstum der Tunnelbarriere zu einer verbesserten Homogenität der Barriere und damit zu höherem MR und RA für ansonsten gleiche Bedingungen bei der Ausbildung der Barriere. Ebenso kann die Verteilung der Widerstände von MTJ Zellen in einem resistiven Feld verbessert werden.

1. Experimentelle Ergebnisse: CoFeB in einer antiparallelen Schicht

[0066] Tabellen 1 und 2 zeigen experimentelle Ergebnisse des Herstellens von MTJ Speicherzellen gemäß Ausführungsformen der Erfindung vergleichen mit MTJ Speicherzellen, die mit Verfahren gemäß dem Stand der Technik hergestellt sind. Tabelle 1 zeigt Current In-Plane Transport (CIPT) Daten und Tabelle 2 zeigt Kerr Daten. Die CIPT Technik ermöglicht die Messung von Magnetotransporteigenschaften von Magnet-Tunnel-Junction Strukturen, wobei es nicht erforderlich ist, Verfahren zum Strukturieren von kleinen Bauelementen mit elektrischen Kontakten an der Unterseite und der Oberseite der strukturierten Bauelemente zu konstruieren. Unstrukturierte Schichten können eingesetzt werden wie beispielsweise in der Veröffentlichung von Worledge, D.C. & Trouilloud. P.L. „Magnetoresistance Measurement of Unpatterned Magnetic Tunnel Junction Wa-

fers by Current-In-Plane-Tunneling", Appl. Phys. Lett. 83, 84–86 (2003) beschrieben, die hiermit per Referenz eingeschlossen wird. Die experimentellen Ergebnisse 1–15 wurden für eine Struktur **302**, die der in [Fig. 4](#) gezeigten Struktur gleich, mit einer Basisschicht **324** aus einer ersten 50 Å TaN Schicht und einer zweiten 50 Å Ta Schicht oberhalb der TaN Schicht erzielt. Die antiferromagnetische Schicht **304** wies 175 Å PtMn und die antiparallele Schicht **316** wies die für die antiparallele untere Schicht **306**, Spacer **308** und antiparallele obere Schicht **310** in Tabellen 1 und 2 aufgelisteten Materialien auf. Die Struktur **300** enthielt eine Tunnelbarrierschicht TL aus 9 Å Al_2O_3 und die freie Schicht **314** wies 50 Å NiFe auf. Die Deckschicht **328** wies 100 Å TaN auf.

Tabelle 1

Experiment Nr.	APL unten 306	Spacer 308	APL oben 310	CIPT Daten			
				280°C, 2 Stunden		350°C, 1 Stunde	
				MR	RA	MR	RA
1	18CoFe	9Ru	05CoFe/13CoFeB	40	9097	27	7922
2	18CoFe	9Ru	05CoFeB/13CoFe	33	3480	26	3812
3	24CoFe	9Ru	18CoFe	24	2627	23	1775
4	5CoFe/8CoFeB/5CoFe	9Ru	05CoFe/12CoFeB	39	6437	26	7215
5	5NiFe/5CoFeB/8CoFe	9Ru	18CoFe	29	2527	23	2832
6	5NiFe/13CoFe	9Ru	18CoFe	24	2785	23	1841
7	18CoFe	9Ru	18CoFe	24	2860	20	1580
8	18CoFe	9Ru	05NiFe/13CoFeB	38	6899	23	6146
9	5CoFe/8CoFeB/5CoFe	9Ru	05CoFe/08CoFeB/05CoFe	33	5211	25	5484
10	24NiFe	9Ru	18CoFe	23	2619	20	1742
11	8CoFe/8CoFeB/8CoFe	9Ru	08CoFe/12CoFeB	37	6945	24	7415
12	5CoFeB/13CoFe	9Ru	18CoFe	28	2681	21	3082
13	18CoFe	9Ru	18CoFeB	44	6036	30	6564
14	5NiFe/5CoFeB/10CoFe	9Ru	18CoFe	31	2417	23	2857
15	18CoFe	9Ru	05NiFe/13CoFe	25	2754	21	1744

[0067] In Tabelle 1 wird Å als Einheit für die Materialschichten **306**, **308** und **310** verwendet und falls die Materialschichten **306**, **308** und **310** zwei oder mehr Schichten aufweisen, so sind die Materialien von links nach rechts gelistet, was beispielsweise von den unteren in Richtung der oberen Schichten der in [Fig. 4](#) gezeigten Struktur **300** korrespondiert. In Tabelle 1 entspricht MR dem Magnetowiderstand der MTJ Speicherzelle **302** für jedes Experiment, was als Prozentanteil der Änderung im Widerstand der MTJ Speicherzelle **302** geteilt durch den minimalen Widerstand der MTJ Speicherzelle **302** und multipliziert mit 100 entspricht. RA gibt den Widerstand einer magnetischen MTJ Zelle **302** multipliziert mit ihrer Fläche wieder und wird in $\Omega\mu\text{m}^2$ ausgedrückt. Die Daten sind nach Ausheilen der Bauelemente bei entsprechenden Temperaturen von 280°C für 2 Stunden und 350° für 1 Stunde gezeigt.

[0068] Die in Tabellen 1 und 2 aufgeführten Experimente 1–15 zeigen, dass die in Ausführungsformen der Erfindung beschriebenen Materialschichten auf verschiedene Weise kombiniert werden können um eine MTJ Speicherzelle mit niedriger Neel-Kopplung, hoher thermischer Stabilität, hohem Magnetowiderstand und hohem RA zu erreichen. Beispielsweise zeigen experimentelle Ergebnisse, dass das Verwenden eines amorphen Materials **550** wie CoFeB benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL, wobei die Tunnelbarrierschicht TL Al_2O_3 und die freie Schicht **514** NiFe, siehe [Fig. 6](#), aufweisen, zu einem hohen MR von ungefähr 40%, guter thermischer Stabilität und hohem RA (siehe Experiment 1) im Vergleich zur Verwendung von nicht amorphem Material wie CoFe benachbart zur Tunnelbarrierschicht TL (siehe Experiment 2) führen.

Tabelle 2

Experiment Nr.	APL unten 306	Spacer 308	APL oben 310	Kerr Daten			
				280°C, 2 Stunden		350°C, 1 Stunde	
				Neel	Plateau	Neel	Plateau
1	18CoFe	9Ru	05CoFe/13CoFeB	2.6	1,000	2.4	1,100
2	18CoFe	9Ru	05CoFeB/13CoFe	5.0	1,100	4.1	750
3	24CoFe	9Ru	18 CoFe	4.9	1,400	4.4	1000
4	5CoFe/8CoFeB/5CoFe	9Ru	05CoFe/12CoFeB	2.9	600	2.8	300
5	5NiFe/5CoFeB/8CoFe	9Ru	18CoFe	8.5	700	6.4	500
6	5NiFe/13CoFe	9Ru	18CoFe	5.2	1,150	4.3	1,100
7	18CoFe	9Ru	18CoFe	5.1	1,100	4.4	400
8	18CoFe	9Ru	05NiFe/13CoFeB	2.7	550	2.2	600
9	5CoFe/8CoFeB/5CoFe	9Ru	05CoFe/08CoFeB/05CoFe	4.0	550	3.7	200
10	24NiFe	9Ru	18CoFe	6.1	400	5.1	500
11	8CoFe/8CoFeB/8CoFe	9Ru	08CoFe/12CoFeB	3.6	600	3.3	600
12	5CoFeB/13CoFe	9Ru	18CoFe	8.4	800	6.0	200
13	18CoFe	9Ru	18CoFeB	1.8	1,150	2.4	1,100
14	5NiFe/5CoFeB/10CoFe	9Ru	18CoFe	8.6	850	6.4	650
15	18CoFe	9Ru	05NiFe/13CoFe	5.4	700	4.7	300

[0069] Tabelle 2 dient der Charakterisierung der magnetischen Eigenschaften einer MTJ und zeigt Kerr Daten für dieselben der Tabelle 1 zugrunde liegenden Experimente, wobei die Neel-Kopplung in Einheiten von Oe dargestellt ist und das Plateau die Stabilität des Referenzsystems hinsichtlich eines magnetischen Feldes wiedergibt und in Oe gemessen wird. Die Zusammensetzung des CoFeB Materials aus Tabellen 1 und 2 weist ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B auf, wobei das CoFe ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist.

2. Experimentelle Erlebnisse: Temperaturen, bei denen CoFeB kristallisiert

[0070] Tabelle 3 zeigt experimentelle Ergebnisse bei Verwendung eines amorphen Materials in einer freien Schicht einer MTJ Speicherzelle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, z. B. wie in **400** in [Fig. 5](#) gezeigt.

Tabelle 3

Experiment Nr.	Legierung/Deckschicht	Kristallisations Temperatur
16	$(\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16})_{80}\text{B}_{20}/\text{Ta}_{40}\text{Cr}_{60}$	320°C
17	$(\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16})_{80}\text{B}_{20}/\text{Ta}_{50}\text{Cr}_{50}$	320°C
18	$(\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16})_{80}\text{B}_{20}/\text{TaN}$	380°C
19	$(\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16})_{85}\text{B}_{15}/\text{Ta}_{40}\text{Cr}_{60}$	300°C
20	$(\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16})_{85}\text{B}_{15}/\text{Ta}_{50}\text{Cr}_{50}$	300°C
21	$(\text{Co}_{84}\text{Fe}_{16})_{85}\text{B}_{15}/\text{TaN}$	340°C
22	$(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{85}\text{B}_{15}/\text{Ta}$	360°C
23	$(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{85}\text{B}_{15}/\text{TaN}$	400°C+

[0071] In Tabelle 3 sind die verschiedenen Materialschichten in Å gezeigt, wobei die Materialien von links nach rechts zur Kennzeichnung von Materialschichten der MTJ Speicherzellenstruktur **402** von unten nach oben dienen. Es hat sich gezeigt, dass CoFeB die höchste Kristallisationstemperatur aufweist, falls es in Kontakt mit einer TaN Deckschicht platziert wird. Des Weiteren ist $(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{85}\text{B}_{15}/\text{TaN}$ amorph und bleibt selbst nach einem Ausheilschritt bei 400°C amorph. Folglich ist ein in den Experimenten 16 bis 23 in Tabelle 3 gezeigtes unerwartetes Ergebnis, dass es von Vorteil ist eine TaN Deckschicht **428** oberhalb einer in einer freien Schicht **442** einer MTJ Speicherzelle **402** angeordneten amorphen Materialschicht **440** anzuordnen, da das TaN in der Deckschicht **428** die Temperatur erhöht, bei der das amorphe Material **440** während thermischer Zyklen der MTJ Speicherzelle **402** kristallisiert.

3. Experimentelle Ergebnisse: NiFe als fixierte Schicht.

[0072] In einer Ausführungsform der Erfindung mit Bezug zu [Fig. 4](#) ist keine Diffusionsbarriere **326** in der MTJ Speicherzellenstruktur **302** enthalten. Stattdessen weist die fixierte Schicht **306** NiFe auf, das nicht nur als fixierte Schicht der antiparallelen Schicht **316**, sondern ebenso als Diffusionsbarriere zur Verbesserung der thermischen Stabilität und zum Verhindern von Diffusion von Mn aus der darunter liegenden anti-ferromagnetischen Schicht **304** dient. Tabelle 4 zeigt experimentelle Ergebnisse von 4 Typen von Strukturen.

Tabelle 4

Experiment Nr.	Antiparallele Schicht 306	Ergebnis
24	18CoFe/09Ru/18CoFe	mittlere thermische Stabilität
25	10CoFe/03Al/10CoFe/09Ru/18CoFe	schlechte thermische Stabilität
26	18CoFe/09Ru/36CoFe/09Ru/18CoFe	schlechtes Umschalten
27	24NiFe/09Ru/18CoFe	verbesserte thermische Stabilität

[0073] Die Dimensionen in Tabelle 4 in Å und die von links nach rechts aufgelisteten Materialien beschreiben die Schichten der MTJ Speicherzellenstruktur **302** von unten nach oben. In jedem der Experimente 24 bis 27 weist die anti-ferromagnetische Schicht **304** 175 Å PtMn auf. Die Schalteigenschaften jedes Bauelements wurden nach einem Ausheilschritt bei 375°C für 1 Stunde gemessen. Die Ergebnisse der Experimente 24–27 zeigen, dass die Verwendung von NiFe (80 Atom% Ni und 20 Atom% Fe) als fixierte Schicht **306** die thermische Stabilität der MTJ Speicherzelle **302** erheblich verbessert.

4. Experimentelle Ergebnisse: Schalteigenschaften.

[0074] [Fig. 7A–Fig. 7D](#) enthalten Kerr Daten, die die Schalteigenschaften der im obigen Experiment 24 getesteten MTJ Speicherzellen **302** darstellen. Entsprechend zeigen [Fig. 8A–Fig. 8D](#) bis [Fig. 10A–Fig. 10D](#) Kerr Daten, die die Schalteigenschaften der in den entsprechenden Experimenten 25–27 getesteten MTJ Speicherzellen **302** darstellen. Die Einheiten der Abszisse der Diagramme in [Fig. 7A–Fig. 7D](#) bis [Fig. 10A–Fig. 10D](#) entsprechen dem magnetischen Feld in Oe. Die Einheiten der Ordinate sind beliebig und spiegeln die Signalstärke der Kerr Rotation wieder, die näherungsweise proportional zum magnetischen Moment der Bauelementstruktur ist (z.B. wird das Kerr Signal von unteren magnetischen Schichten der Bauelementstruktur abgeschwächt im Vergleich zum Kerr Signal von Schichten derselben Dicke, die näher zur Oberfläche der Struktur liegen). Eine Hysteresekurve entspricht der gewünschten Form der in [Fig. 7A–Fig. 10D](#) gezeigten Kurven um den magnetischen Zustand der freien Schicht einer MTJ Speicherzelle erfolgreich umzuschalten. Die MTJ Speicherzelle **302** mit NiFe als fixierte Schicht **306** weist ausgezeichnete Schalteigenschaften auf, wie den [Fig. 10A–Fig. 10D](#) entnommen werden kann. In dem in [Fig. 10A–Fig. 10D](#) gezeigten Experiment 27 wurde eine gute Kopplung zwischen der NiFe fixierten Schicht **306** und der CoFe Referenzschicht **310** über den Ru Spacer **308** festgestellt.

5. Experimentelle Erlebnisse: Thermische Stabilität

[0075] [Fig. 11](#) stellt einen Graph dar, der eine Verbesserung der thermischen Stabilität bei Verwendung einer in [Fig. 4](#) gezeigten amorphen Pufferschicht **326** aufweist, wobei die MTJ **302** eine Pufferschicht **326** mit CoFeB aufweist. Die Zielzusammensetzung der Pufferschicht **326** weist $(\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25})_{80}\text{B}_{20}$ auf und die gegenwärtige Zusammensetzung der CoFeB Pufferschicht **326** des Experiments betrug $(\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25})_{75}\text{B}_{25}$. Beispielsweise zeigt Kurve **28** den Magnetowiderstand (MR) über der Ausheiltemperatur eines MTJ **202** ohne Pufferschicht (wie in [Fig. 3](#) gezeigt). Kurve **29** zeigt den Magnetowiderstand einer MTJ **302** mit Pufferschicht **326** (siehe [Fig. 4](#)) mit ungefähr 5 Å CoFeB. Kurve **30** zeigt den Magnetowiderstand einer MTJ **302** mit einer Pufferschicht **326** mit ungefähr 15 Å CoFeB. Bei 350°C beträgt der MR der MTJ ohne Pufferschicht weniger als 5% und MTJ's 302 mit einer amorphen Pufferschicht **326** zeigen einen MR von ungefähr 40% und 32% (in den entsprechenden Kurven **30** und **29** gezeigt) bei 400°C wie dargestellt. Ähnliche Ergebnisse konnten bei Verwendung einer Pufferschicht **326** mit einer Zielzusammensetzung von $\text{Co}_{67}\text{Fe}_{4}\text{Mo}_{1}\text{Si}_{17}\text{B}_{11}$ erreicht werden, wobei die Verwendung einer amorphen Pufferschicht **326** auf eine verbesserte thermische Stabilität hindeutet.

[0076] Die hierin beschriebenen amorphen ferromagnetischen Materialien zur Verwendung als Diffusionsbarrieren **326/526** in [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#), welche unterhalb einer als **550** in [Fig. 6](#) gezeigten Tunnelbarrierenschicht TL einer antiparallelen Schicht **554** angeordnet sind sowie in einer in [Fig. 5](#) gezeigten freien Schicht **442**, sind aus verschiedenen Gründen von Vorteil. Amorphe Legierungen mit magnetischen 3d Übergangselementen sind weich und die Koerzitiv-Feldstärke H_c kann sehr klein sein. Dies ist von Vorteil, da die zum Umschalten der amorphen Materialien erforderlichen Ströme klein sein können. Des Weiteren weisen amorphe ferromagnetische Legierungen hohe elastische Grenzen auf (d.h. sie widerstehen plastischer Deformation, da das Fehlen einer geordneten atomaren Gitterstruktur ein Fehlen von ungehinderter Bewegung von Versetzungen mit sich bringt) und zeigen eine gute Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion in bestimmten Zusammensetzungsbereichen auf Grund des Fehlens von Korngrenzen, entlang derer Verunreinigungen diffundieren können. Zusätzlich ist das magnetische Moment der amorphen Legierungen in vielen Fällen reduziert verglichen mit der kristallinen Ausführung der Materialien. Die Curie Temperatur und Magnetostriktion hängen von der Legierungszusammensetzung ab. Keine Magnetostriktion innerhalb der freien Schicht der MTJ Speicherzelle lässt sich mit einer geeigneten Legierungszusammensetzung erreichen. Die Dotierung von Permalloy mit einem Seltenerdmaterial beeinflusst ebenso die Landau-Lifshitz-Gilbert Dämpfungskonstante „a“. Des Weiteren wurde im Falle von Tb Dotierung von Permalloy gezeigt, dass die Dotierung a erheblich vergrößert. Die vergrößerte Dämpfungskonstante a vereinfacht schnelleres Umschalten des MTJ Speicherelements oder der Speicherzelle und dies ist insbesondere in MRAM Anwendungen von Vorteil, wie in US 6,452,240, „Increased Damping of Magnetization in Magnetic Materials“, 7. September 2002, Ingvarsson et al. beschrieben ist, welche hiermit per Referenz eingeschlossen wird. Amorphe ferromagnetische Materialien können per Sputtern mit einer Vielzahl von verschiedenen Komponenten und Zusammensetzungen abgeschieden werden, indem die Dotierstoffe oder Bestandteile beispielsweise im Sputtertarget enthalten sind.

[0077] Die MTJ Speicherzellen **302**, **402**, **502**, die hierin mit Bezug zu [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) beschrieben sind, können in MRAM Feldern, wie das in [Fig. 1](#) gezeigte, verwendet werden. Ausführungsformen der Erfindung enthalten Verfahren zum Herstellen der MTJ Speicherzellen **302**, **402**, **502**. Ausführungsformen der Erfindung enthalten ebenso MRAM Felder, die die hierin beschriebenen MTJ Speicherzellen **302**, **402**, **502** nutzen.

[0078] Auf die hierin beschriebenen antiparallelen Schichten **316**, **416**, **554** kann ebenso als Referenzsystem Bezug genommen werden. Wie [Fig. 4](#) zeigt, sind die hierin beschriebenen Diffusionsbarrieren ebenso hilfreich, falls diese in Referenzsystemen mit einer Mehrzahl von Spacern **308** und einer Mehrzahl von ferromagnetischen Schichten **306** und **310**, welche näherungsweise um jeden Spacer **308** angeordnet sind, verwendet werden. Beispielsweise kann ein Referenzsystem **316** eine Mehrzahl von Schichtfunktionen als Referenzsystem **316** aufweisen, z.B. eine ferromagnetische (FM) Schicht 1/Spacer 1/FM2/Spacer 2/FM3 usw. In einem Referenzsystem **316** mit mehr als einer nicht magnetischen Spacerschicht **308** zwischen einer Mehrzahl von ferromagnetischen Schichten **306** und **310** können einige Spacer **308** antiparallele Kopplung aufweisen, während weitere Spacer **308** parallele Kopplung hinsichtlich des Referenzsystems **316** aufweisen können. In einem derartigen Referenzsystem **316** kann die hierin beschriebene Diffusionsbarriere **326** zwischen dem Referenzsystem **316** und einer benachbarten anti-ferromagnetischen Schicht **304** angeordnet sein und/oder die ferromagnetischen Schichten können eine Doppelschicht oder Dreifachschicht aufweisen, wobei eine der Doppel- oder Dreifachschichten eine Diffusionsbarriere-Materialschicht wie beispielsweise eine amorphe Legierung aufweist. Eine Diffusionsbarriere mit einem amorphen ferromagnetischen Material kann zwischen einem der Spacer und einer benachbarten ferromagnetischen Schicht angeordnet sein.

[0079] Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung beinhalten die Verbesserung der thermischen Stabilität von MTJ Speicherzellen durch Anordnen einer Diffusionsbarriere zwischen einer anti-ferromagnetischen Schicht und einer fixierten Schicht einer antiparallelen Schicht und Reduzieren der Neel-Kopplung der MTJ Speicherzellen durch Anordnen eines an eine Tunnelbarrierschicht TL angrenzenden Materials. Eine MTJ mit verbesserter elektrischer und magnetischer Leistung und dadurch gegebener Kompatibilität zu CMOS Prozessen wird durch Ausführungsformen der Erfindung erzielt. Die Verwendung von TaN als Basisschicht und als Deckschicht verbessert zudem das Leistungsverhalten der MTJ Speicherzellen. Ausführungsformen der Erfindung führen zu verbesserter Bauelementausbeute und Kosteneinsparungen.

[0080] Obwohl Ausführungsformen der Erfindung und ihre Vorteile detailliert beschrieben wurden, ist es selbstverständlich, dass verschiedenartige Änderungen, Substitutionen und Abwandlungen der Ausführungsformen durchgeführt werden können ohne vom Sinn und Zweck sowie Umfang der in den beigefügten Ansprüchen definierten Erfindung abzuweichen.

[0081] Beispielsweise ist es für einen Fachmann selbstverständlich, dass viele der Eigenschaften, Funktionen, Verfahren und Materialien, welche hierin beschrieben sind im Bereich des Umfangs der Erfindung variiert werden können. Des Weiteren ist es nicht beabsichtigt, den Umfang der Erfindung auf die besonderen Ausführungsformen von Verfahren, Maschinen, Herstellung, stofflichen Zusammensetzungen, Vorrichtungen, Techniken und Schritten, die in der Spezifikation beschrieben sind, zu beschränken. Ein Fachmann wird angesichts der Offenbarung der Erfindung Prozesse, Maschinen, Herstellung, stoffliche Zusammensetzung, Vorrichtung, Techniken oder Schritte, die gegenwärtig existieren oder zukünftig entwickelt werden, und im Wesentlichen dieselbe Funktion oder zum im Wesentlichen selben Ergebnis wie die hierin korrespondierenden Ausführungsformen führen als Verwertung gemäß der Erfindung anerkennen. Entsprechend beabsichtigen die angehängten Ansprüche innerhalb ihres Umfangs derartige Prozesse, Maschinen, Herstellung, stoffliche Zusammensetzungen, Vorrichtungen, Techniken oder Schritte einzubeziehen.

Patentansprüche

1. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle mit:
einer anti-ferromagnetischen Schicht;
einer oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordneten Diffusionsbarrierschicht;
einer oberhalb der Diffusionsbarriere angeordneten antiparallelen magnetischen Schicht, die eine oberhalb der Diffusionsbarriere angeordnete fixierte Schicht, einen oberhalb der fixierten Schicht angeordneten Spacer und eine oberhalb des Spacers angeordnete Referenzschicht aufweist;
einer oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht angeordneten Tunnelbarrierschicht; und
einer oberhalb der Tunnelbarrierschicht angeordneten freien magnetischen Schicht.
2. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die Diffusionsbarrierschicht ein amorphes Material aufweist.
3. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 2, wobei die Diffusionsbarrierschicht die fixierte Schicht enthält.
4. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 2, wobei das amorphe Material eine Co Legie-

rung, eine Fe Legierung oder eine Co-Fe Legierung aufweist.

5. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 2, wobei das amorphe Material Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.

6. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 5, wobei das Co, Fe, Ni, oder eine Kombination hieraus ungefähr 70–90 Atom% des amorphen Materials aufweisen und wobei das B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder eine Kombination hieraus ungefähr 10–30 Atom% des amorphen Materials aufweisen.

7. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 6, wobei das amorphe Material ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B aufweist und wobei das CoFe des amorphen Materials ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist.

8. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 2, wobei die Diffusionsbarrierenschicht eine Doppelschicht oder eine Dreifachschicht aufweist.

9. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 8, wobei wenigstens eine Schicht der Doppelschicht oder Dreifachschicht eine auf CoFeB basierte Legierung aufweist.

10. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 9, wobei wenigstens eine Schicht der Doppelschicht oder Dreifachschicht CoFe aufweist.

11. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die anti-ferromagnetische Schicht Mn aufweist und die Diffusionsbarrierenschicht eine Diffusion des Mn in den Spacer der antiparallelen magnetischen Schicht verhindert.

12. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die Diffusionsbarrierenschicht eine Dicke von ungefähr 20 Å oder weniger aufweist.

13. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die antiparallele magnetische Schicht eine Neel-Kopplung reduzierende Schicht benachbart zur Tunnelbarrierenschicht aufweist.

14. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 13, wobei die Neel-Kopplung reduzierende Schicht ein amorphes Material aufweist.

15. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 14, wobei die Neel-Kopplung reduzierende Schicht eine auf CoFeB basierende Legierung aufweist.

16. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 14, wobei die Neel-Kopplung reduzierende Schicht eine Dicke von ungefähr 20 Å oder weniger aufweist.

17. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1 mit einer unterhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordneten Basisschicht und einer oberhalb der freien Schicht angeordneten Deckschicht.

18. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 17, wobei die Basisschicht eine Doppelschicht aus TaN und Ta und die Deckschicht TaN aufweist.

19. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 17, wobei die Basisschicht eine Dicke von ungefähr 100 Å oder weniger und die Deckschicht eine Dicke von ungefähr 100 Å aufweisen.

20. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die anti-ferromagnetische Schicht ungefähr 80–300 Å PtMn, die Tunnelbarrierenschicht ungefähr 20 Å oder weniger Al_2O_3 und der Spacer ungefähr 15 Å oder weniger Ru aufweisen.

21. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die freie magnetische Schicht eine amorphe ferromagnetische Legierung aufweist.

22. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 21, wobei die amorphe ferromagnetische Legierung der freien magnetischen Schicht Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr,

Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.

23. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 22, wobei das Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus ungefähr 70–90 Atom% der amorphen ferromagnetischen Legierung und das B, P, Si, No, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder eine Kombination hieraus ungefähr 10–30 Atom% der amorphen ferromagnetischen Legierung aufweisen.

24. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 23, wobei die amorphe ferromagnetische Legierung ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B und das CoFe der amorphen ferromagnetischen Legierung ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist.

25. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1 mit einer zwischen der Tunnelbarrierschicht und der antiparallelen magnetischen Schicht angeordneten amorphen Materialschicht.

26. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 25, wobei die amorphe Materialschicht ungefähr 20 Å oder weniger Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.

27. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die Diffusionsbarrierschicht eine NiFe Legierung aufweist.

28. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 27, wobei die Diffusionsbarrierschicht ungefähr 60–90 Atom% Ni und ungefähr 10–40 Atom% Fe aufweist.

29. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 27, wobei die Diffusionsbarriere die fixierte Schicht aufweist.

30. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1, wobei die antiparallele magnetische Schicht eine Mehrzahl von Spacern mit jeweils einer ersten Seite und einer zweiten Seite aufweist und wobei eine ferromagnetische Schicht benachbart zur ersten Seite und zur zweiten Seite der Mehrzahl von Spacern angeordnet ist.

31. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 30 mit einer amorphen Diffusionsbarriere zwischen wenigstens einem Spacer und einer benachbarten ferromagnetischen Schicht.

32. Magnetisches Speicherbauelement mit wahlfreiem Zugriff (MRAM) mit wenigstens einer Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 1.

33. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle mit:
einer anti-ferromagnetischen Schicht;
einer oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordneten antiparallelen magnetischen Schicht;
einer oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht angeordneten Tunnelbarrierschicht; und
einer oberhalb der Tunnelbarrierschicht angeordneten freien magnetischen Schicht, die eine hierin angeordnete und von der Tunnelbarrierschicht beabstandete erste amorphe ferromagnetische Schicht aufweist.

34. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33, wobei die erste amorphe ferromagnetische Schicht Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.

35. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33, wobei das Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus ungefähr 70–90 Atom% der ersten amorphen ferromagnetischen Schicht und das B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder eine Kombination hieraus ungefähr 10–30 Atom% der ersten amorphen ferromagnetischen Schicht aufweisen.

36. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 35, wobei die erste amorphe ferromagnetische Schicht ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B und das CoFe der amorphen ferromagnetischen Schicht ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist.

37. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 34, wobei die erste amorphe ferromagnetische Schicht eine Dicke von ungefähr 50 Å oder weniger aufweist.

38. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 34 mit einer zwischen der anti-ferromagnetischen Schicht und der antiparallelen magnetischen Schicht angeordneten Diffusionsbarrierenschicht.
39. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 38, wobei die Diffusionsbarrierenschicht ein amorphes Material aufweist.
40. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 39, wobei das amorphe Material Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.
41. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 40, wobei das Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus ungefähr 70–90 Atom% des amorphen Materials und das B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder eine Kombination hieraus ungefähr 10–30 Atom% des amorphen Materials aufweisen.
42. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 41, wobei das amorphe Material ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B und das CoFe des amorphen Materials ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist.
43. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 39, wobei die Diffusionsbarrierenschicht eine Doppelschicht oder eine Dreifachschicht aufweist.
44. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 43, wobei wenigstens eine Schicht aus Doppelschicht oder Dreifachschicht der Diffusionsbarrierenschicht eine CoFeB basierte Legierung aufweist.
45. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 43, wobei wenigstens eine Schicht der Doppelschicht oder Dreifachschicht der Diffusionsbarrierenschicht CoFe aufweist.
46. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 38, wobei die anti-ferromagnetische Schicht Mn aufweist und die Diffusionsbarrierenschicht eine Diffusion des Mn in die antiparallele magnetische Schicht verhindert.
47. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 38, wobei die Diffusionsbarrierenschicht eine Dicke von ungefähr 20 Å oder weniger aufweist.
48. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 38, wobei die Diffusionsbarrierenschicht eine NiFe Legierung aufweist.
49. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 48, wobei die Diffusionsbarrierenschicht ungefähr 60–90 Atom% Ni und ungefähr 10–40 Atom% Fe aufweist.
50. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33 mit einer unterhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordneten Basisschicht und einer oberhalb der freien Schicht angeordneten Deckschicht.
51. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 50, wobei die Basisschicht eine Doppelschicht aus TaN und Ta und die Deckschicht TaN aufweist.
52. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 50, wobei die Basisschicht eine Dicke von ungefähr 100 Å oder weniger und die Deckschicht eine Dicke von ungefähr 100 Å aufweist.
53. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33, wobei die anti-ferromagnetische Schicht ungefähr 80–300 Å PtMn und die Tunnelbarrierenschicht ungefähr 20 Å oder weniger Al_2O_3 aufweist.
54. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33 mit einer zwischen der Tunnelbarrierenschicht und der antiparallelen magnetischen Schicht angeordneten amorphen Materialschicht.
55. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 54, wobei die amorphe Materialschicht Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder eine Kombination hieraus aufweist.
56. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 55, wobei das Co, Fe, Ni oder eine Kombination

hieraus ungefähr 70–90 Atom% der amorphen Materialschicht und das B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder eine Kombination hieraus ungefähr 10–30 Atom% der amorphen Materialschicht aufweisen.

57. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 56, wobei die amorphe Materialschicht ungefähr 75 Atom% CoFe und ungefähr 25 Atom% B und das CoFe der amorphen Materialschicht ungefähr 70 Atom% Co und ungefähr 30 Atom% Fe aufweist.

58. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33, wobei die antiparallele magnetische Schicht eine oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordnete fixierte magnetische Schicht und eine oberhalb der fixierten magnetischen Schicht angeordnete magnetische Referenzschicht aufweist.

59. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 58 mit einem zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der magnetischen Referenzschicht angeordneten Spacer.

60. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 59 mit einer zwischen der anti-ferromagnetischen Schicht und der antiparallelen magnetischen Schicht angeordneten Diffusionsbarrierschicht, wobei die antiferromagnetische Schicht Mn aufweist und die Diffusionsbarrierschicht eine Diffusion des Mn in den Spacer der antiparallelen magnetischen Schicht verhindert.

61. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 60, wobei die Diffusionsbarrierschicht ungefähr 20 Å oder weniger von einem amorphen Material aufweist.

62. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 61, wobei das amorphe Material der Diffusionsbarrierschicht Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.

63. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 59, wobei der Spacer ungefähr 15 Å oder weniger Ru aufweist.

64. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 60, wobei die Diffusionsbarrierschicht ungefähr 20 Å oder weniger einer NiFe Legierung aufweist.

65. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 64, wobei die Diffusionsbarrierschicht ungefähr 60–90 Atom% Ni und ungefähr 10–40 Atom% Fe aufweist.

66. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33, wobei die antiparallele magnetische Schicht eine oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht angeordnete fixierte magnetische Schicht und eine oberhalb der fixierten magnetischen Schicht angeordnete magnetische Referenzschicht aufweist.

67. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 66, wobei die fixierte Schicht eine zweite amorphe ferromagnetische Schicht aufweist.

68. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 67, wobei die zweite amorphe ferromagnetische Schicht Co, Fe, Ni oder eine Kombination hieraus kombiniert mit B, P, Si, Mo, Zr, Nb, Hf, Gd, Tb oder einer Kombination hieraus aufweist.

69. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 67, wobei die fixierte Schicht eine NiFe Legierung aufweist.

70. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33, wobei die antiparallele magnetische Schicht eine Mehrzahl nichtmagnetischer Spacer mit jeweils einer ersten Seite und einer zweiten Seite aufweist, wobei die ferromagnetische Schicht benachbart zur ersten Seite und zur zweiten Seite der Mehrzahl von Spacern angeordnet ist.

71. Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 70 mit einer zwischen wenigstens einem der Spacer und einer ferromagnetischen Schicht angeordneten amorphen ferromagnetischen Schicht.

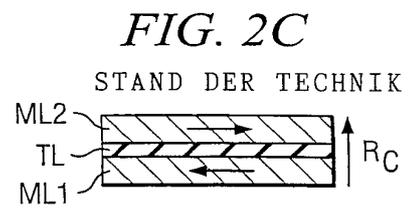
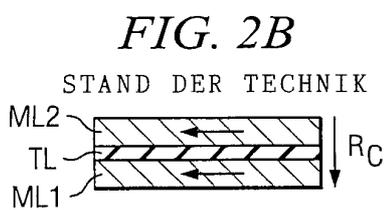
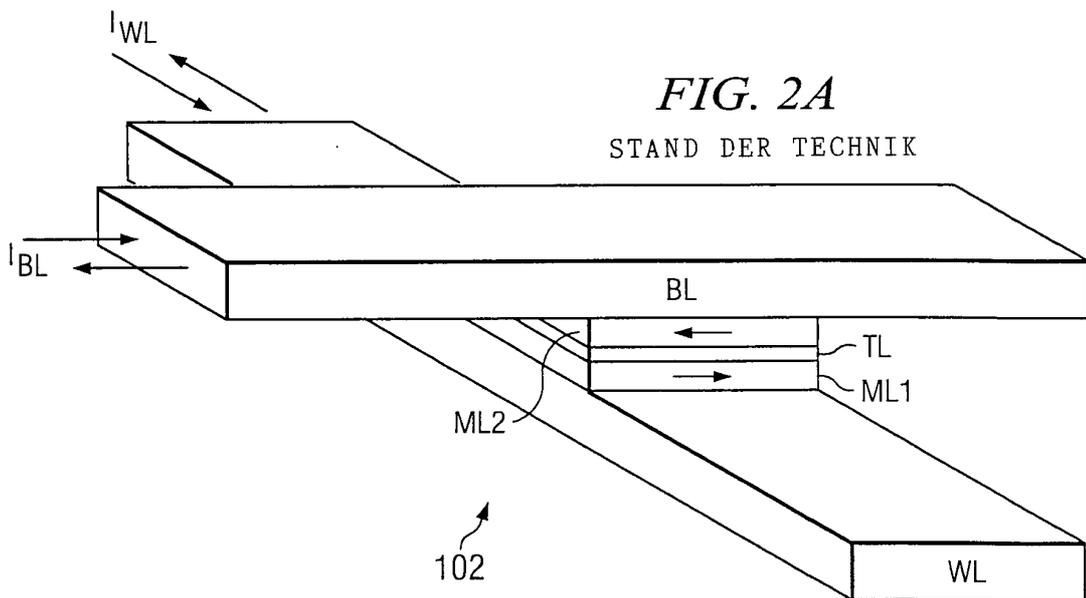
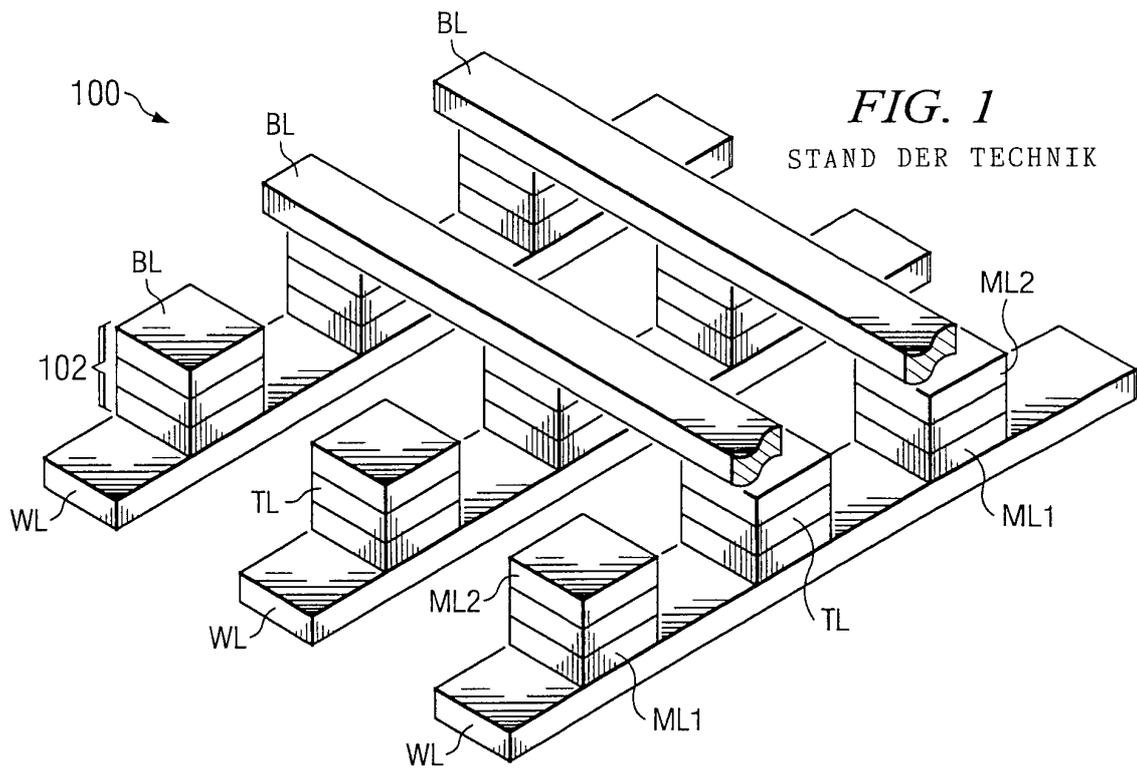
72. Magnetisches Speicherbauelement mit wahlfreiem Zugriff (MRAM) mit wenigstens einer Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle nach Anspruch 33.

73. Verfahren zum Herstellen einer Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle umfassend:
Bereitstellen eines Werkstücks;
Ausbilden einer anti-ferromagnetischen Schicht oberhalb des Werkstücks;
Ausbildung einer Diffusionsbarrierenschicht oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht;
Ausbilden einer antiparallelen magnetischen Schicht oberhalb der Diffusionsbarriere, wobei das Ausbilden der antiparallelen magnetischen Schicht
Ausbilden einer fixierten Schicht oberhalb der Diffusionsbarriere, Ausbilden eines Spacers oberhalb der fixierten Schicht und Ausbilden einer Referenzschicht oberhalb des Spacers umfasst;
Ausbilden einer Tunnelbarrierenschicht oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht; und
Ausbilden einer freien magnetischen Schicht oberhalb der Tunnelbarrierenschicht.

74. Verfahren zum Herstellen einer Magnet-Tunnel-Junction Speicherzelle mit:
Bereitstellen eines Werkstücks;
Ausbilden einer anti-ferromagnetischen Schicht oberhalb des Werkstücks;
Ausbilden einer antiparallelen magnetischen Schicht oberhalb der anti-ferromagnetischen Schicht;
Ausbilden einer Tunnelbarrierenschicht oberhalb der antiparallelen magnetischen Schicht; und
Ausbilden einer freien magnetischen Schicht oberhalb der Tunnelbarrierenschicht, wobei das Ausbilden der freien magnetischen Schicht Ausbilden einer hierin liegenden und von der Tunnelbarrierenschicht beabstandeten ersten amorphen ferromagnetischen Schicht beinhaltet.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



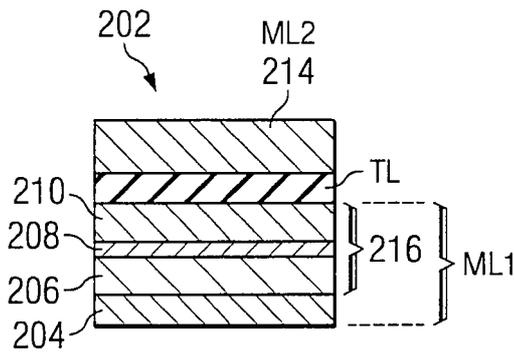


FIG. 3

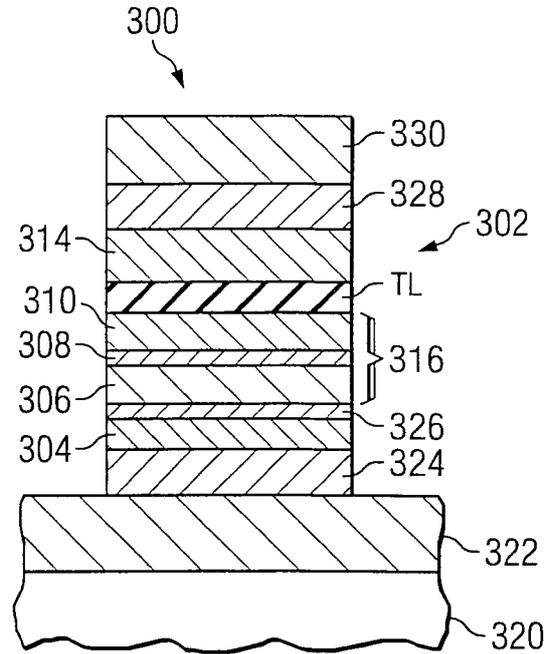


FIG. 4

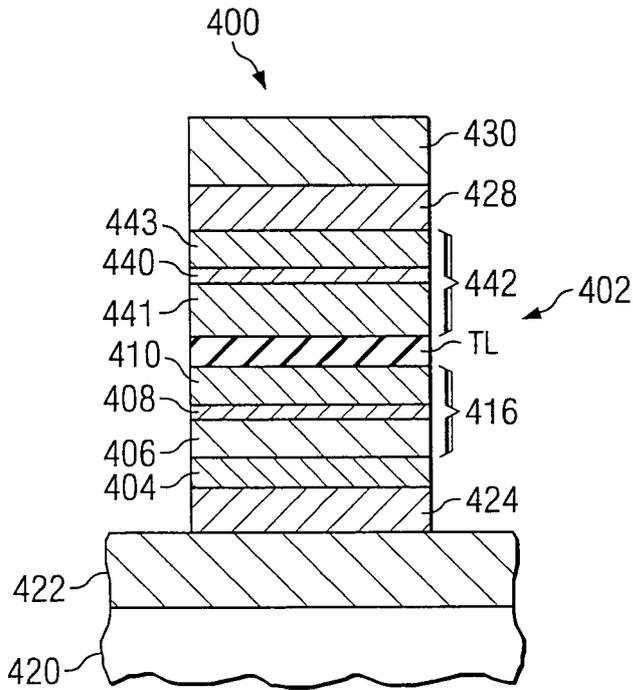


FIG. 5

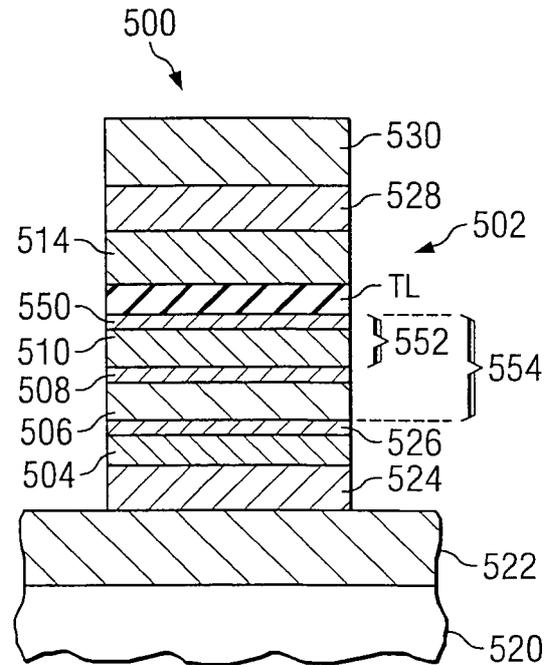


FIG. 6

FIG. 7A

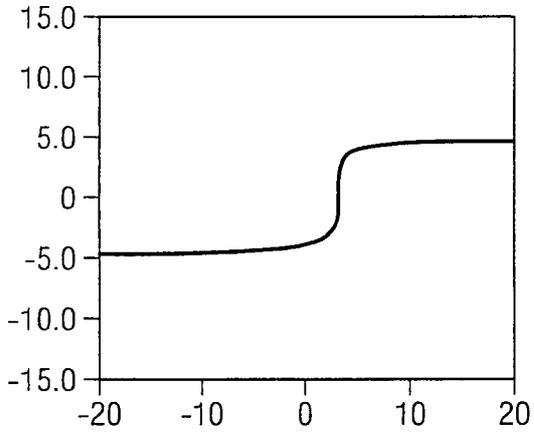


FIG. 7B

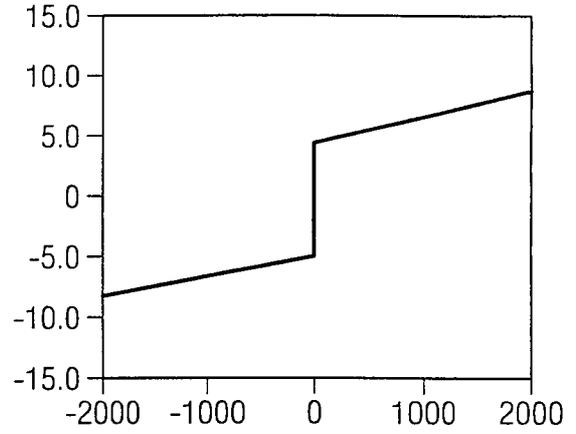


FIG. 7C

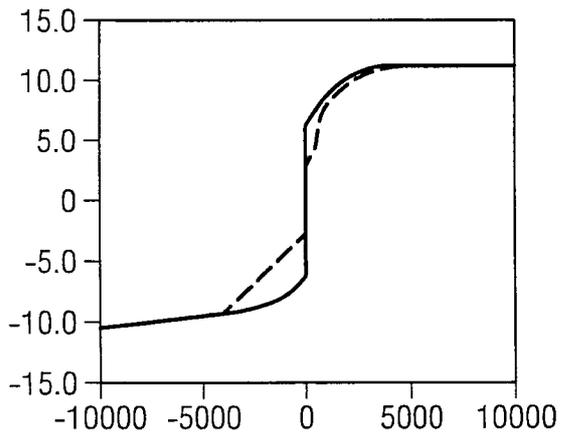


FIG. 7D

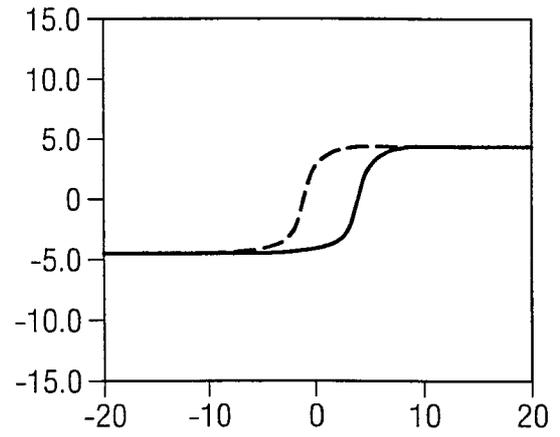


FIG. 8A

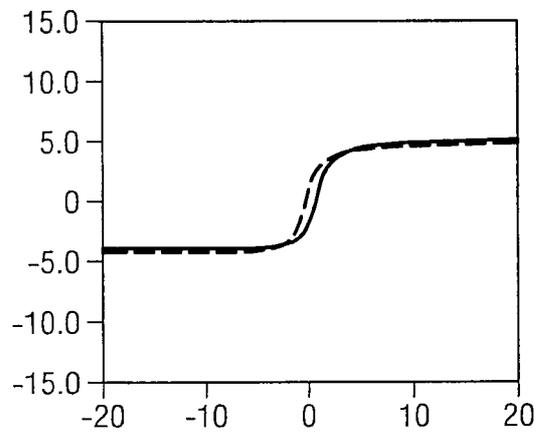


FIG. 8B

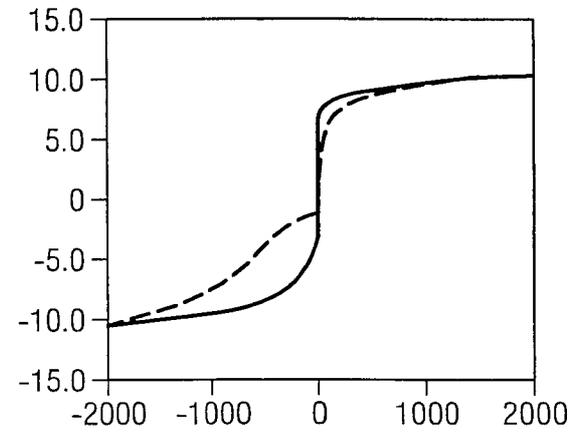


FIG. 8C

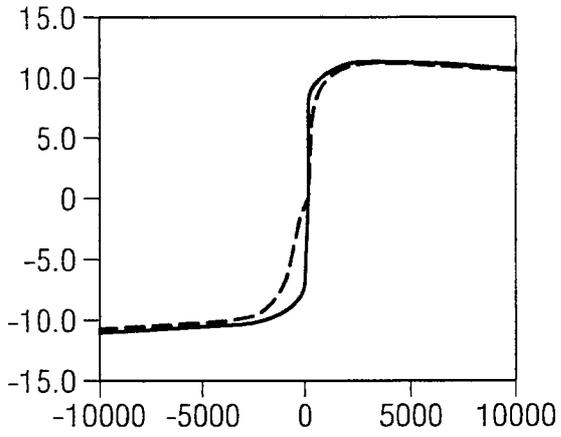


FIG. 8D

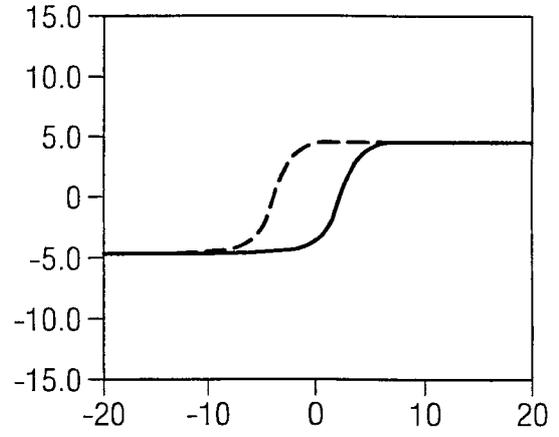


FIG. 9A

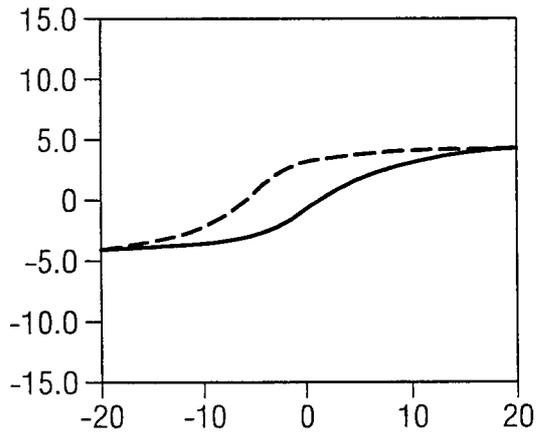


FIG. 9B

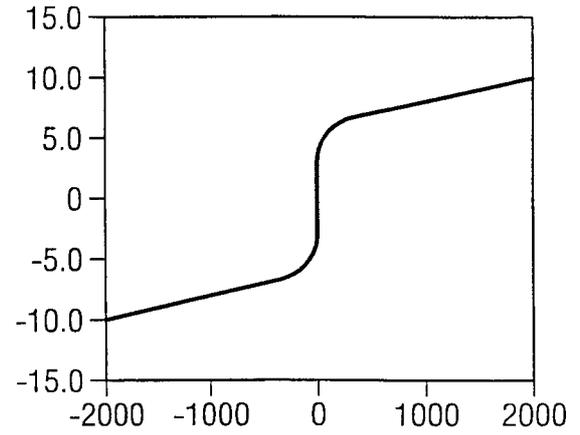


FIG. 9C

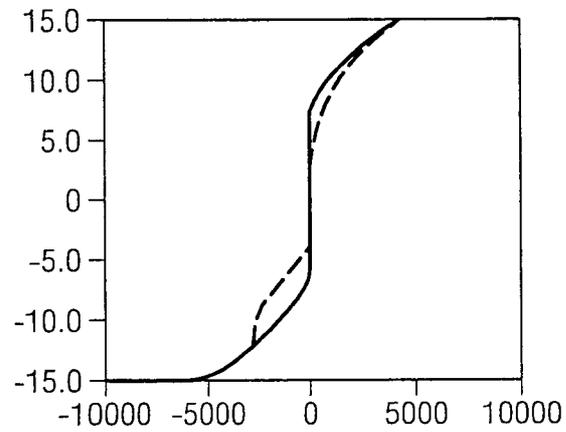


FIG. 9D

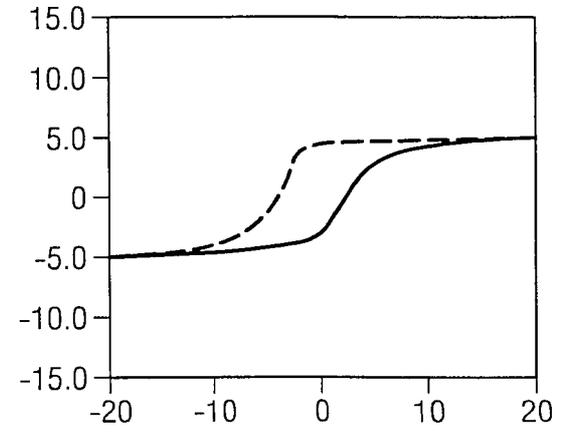


FIG. 10A

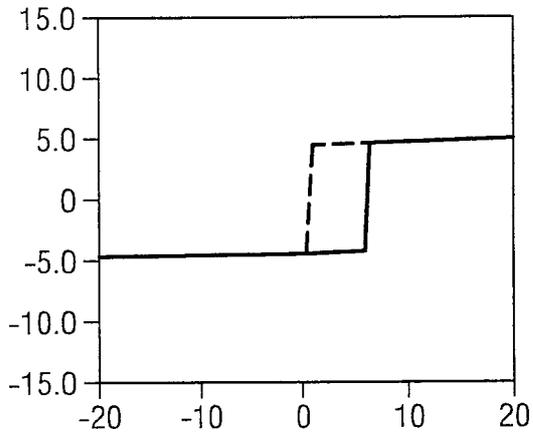


FIG. 10B

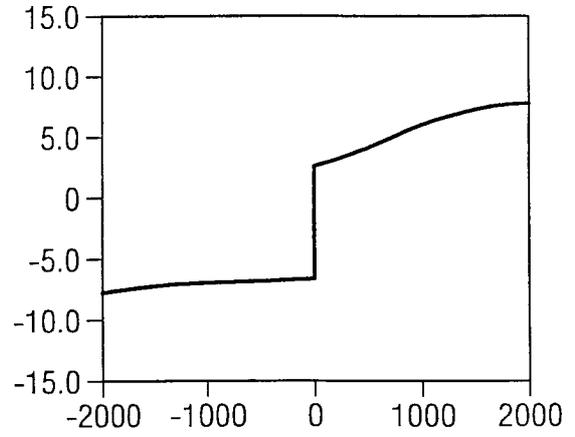


FIG. 10C

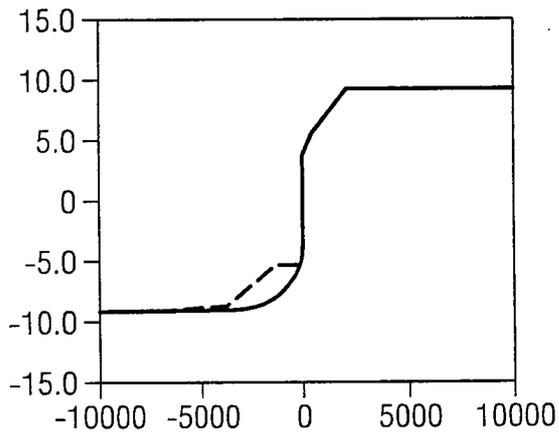


FIG. 10D

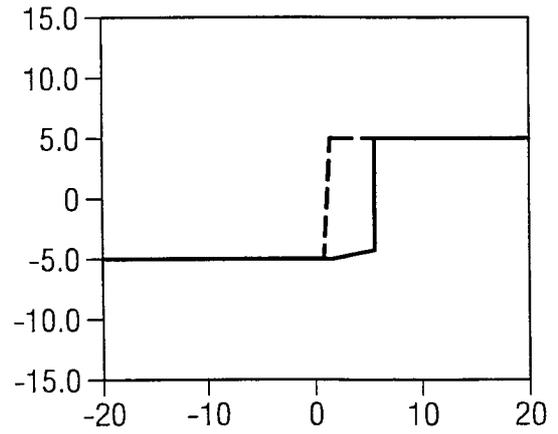


FIG. 11

