

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Dezember 2002 (27.12.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/103702 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G11C 11/16**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/02187

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Juni 2002 (14.06.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 28 964.2 15. Juni 2001 (15.06.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-
Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MATTHEIS, Roland**
[DE/DE]; Talstrasse 36, 07743 Jena (DE). **VAN DEN
BERG, Hugo** [NL/NL]; Rietlanden 1, NL-8355 Diethoorn
(NL).

(74) Anwalt: **EPPING, HERMANN & FISCHER**; Ridler-
strasse 55, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): KR, US.

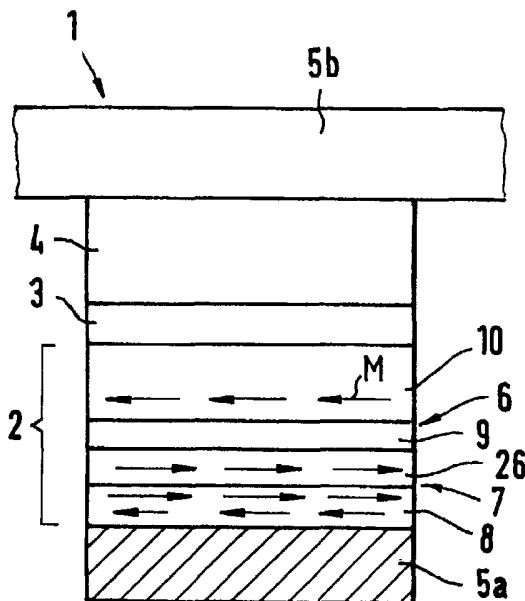
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DIGITAL STORAGE CELL DEVICE

(54) Bezeichnung: DIGITALE SPEICHERZELLENEINRICHTUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a digital magnetic storage cell device for reading and/or writing operations that comprises a soft-magnetic reading and/or writing layer system and at least one hard-magnetic reference layer system, which is provided in the form of an AAF system and has at least one reference layer. The reference layer system has a layer section comprising at least one bias layer system with at least one ferrimagnetic layer, whereby the magnetic moments of the bias layer system and of the reference layer are coupled in an opposed manner via a coupling layer.

(57) **Zusammenfassung:** Digitale magnetische Speicherzeleineinrichtung für Lese- und/oder Schreiboperationen, mit einem weichmagnetischen Lese- und/oder Schreibschichtsystem und mindestens einem hartmagnetischen, als AAF-System ausgebildeten Referenzschichtsystem mit wenigstens einer Referenzschicht, wobei das Referenzschichtsystem einen Schichtabschnitt umfassend wenigstens ein Biasschichtsystem mit wenigstens einer ferrimagnetischen Schicht aufweist, wobei die magnetischen Momente des Biasschichtsystems und der Referenzschicht über eine Kopplungsschicht entgegengesetzt gekoppelt sind.



WO 02/103702 A2

Beschreibung

Digitale Speicherzelleneinrichtung

- 5 Die Erfindung betrifft eine digitale Speicherzelleneinrichtung . . .

Eine derartige digitale Speicherzelleneinrichtung dient zum Speichern von Informationen auf magnetischer Basis. Eine ein-
10 zelne Speicherzelleneinrichtung ist in der Regel Teil einer Speichereinrichtung, häufig auch MRAM (magnetic random access memory) genannt. Mit einem derartigen Speicher können Lese- und/oder Schreiboperationen durchgeführt werden. Jede einzel-
15 ne Speicherzelleneinrichtung umfasst ein weichmagnetisches Lese- und/oder Schreibschichtsystem, das über eine Zwischenschicht von einem hartmagnetischen, beim vorliegenden Typ an Speicherzelleneinrichtung als AAF-System ausgebildeten hartmagnetischen Referenzschichtsystem getrennt ist. Die Magnetisierung der Referenzschicht des Referenzschichtsystems ist
20 stabil und ändert sich in einem anliegenden Feld nicht, während die Magnetisierung des weichmagnetischen Lese- und/oder Schreibschichtsystems über ein anliegendes Feld geschaltet werden kann. Die beiden magnetischen Schichtsysteme können zueinander parallel oder antiparallel magnetisiert sein. Die
25 beiden vorgenannten Zustände stellen jeweils ein Bit von Informationen dar, d.h. den logischen Null („0“)- oder Eins („1“)-Zustand. Ändert sich die relative Orientierung der Magnetisierung der beiden Schichten von parallel nach antiparallel oder umgekehrt, so ändert sich der Magnetowiderstand über
30 diese Schichtstruktur um einige Prozent. Diese Änderung des Widerstands kann für das Auslesen in der Speicherzelle abgelegter digitaler Information verwendet werden. Die Änderung des Zellwiderstands kann durch eine Spannungsänderung erkannt werden. Beispielsweise kann bei Spannungszunahme die Zelle
35 mit einer logischen Null („0“) und bei einer Spannungsabnahme die Zelle mit einer logischen Eins („1“) belegt werden. Besonders große Widerstandsänderungen im Bereich von einigen

Prozent wurden bei Änderung der Magnetisierungsausrichtung von parallel nach antiparallel und umgekehrt in Zellstrukturen vom GMR-Typ (giant magneto resistance) oder dem TMR-Typ (tunnel magneto resistance) beobachtet.

5

Ein wichtiger Vorteil derartiger magnetischer Speicherzellen liegt darin, dass auf diese Weise die Information persistent gespeichert ist, und ohne Aufrechterhaltung irgendeiner Grundversorgung auch bei ausgeschaltetem Gerät gespeichert und nach Einschalten des Geräts sofort wieder verfügbar ist, anders als bei bekannten herkömmlichen Halbleiterspeichern.

Ein zentraler Bestandteil hierbei ist das Referenzschichtsystem, das als AAF-System (AAF = artificial anti ferromagnetic) ausgebildet ist. Ein derartiges AAF-System ist aufgrund seiner hohen magnetischen Steifigkeit und der relativ geringen Kopplung zum Messschichtsystem durch den sogenannten Orange-Peel-Effekt und/oder durch makroskopische magnetostatische Kopplungsfelder von Vorteil. Ein AAF-System besteht in der Regel aus einer ersten Magnetschicht oder einem Magnetschichtsystem, einer antiferromagnetischen Kopplungsschicht und einer zweiten magnetischen Schicht oder einem magnetischen Schichtsystem, das mit seiner Magnetisierung über die antiferromagnetische Kopplungsschicht entgegengesetzt zur Magnetisierung der unteren Magnetschicht gekoppelt wird. Ein solches AAF-System kann z. B. aus zwei magnetischen Co-Schichten und einer antiferromagnetischen Kopplungsschicht aus Cu gebildet werden.

Um die Steifigkeit des AAF-Systems, also seine Resistenz gegen externe äußere Felder zu verbessern ist es üblich, an der dem Messschichtsystem abgewandten Magnetschicht des AAF-Systems eine antiferromagnetische Schicht anzuordnen. Über diese antiferromagnetische Schicht wird die direkt benachbarte Magnetschicht in ihrer Magnetisierung zusätzlich gepinnt, so dass das AAF-System insgesamt härter wird (exchange pinning oder exchange biasing).

Nachteilig hierbei ist jedoch die relativ schwache Kopplung zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der auf ihr angeordneten Magnetschicht, die typischerweise kleiner als
5 0,3 mJ/m² ist. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Magnetisierung eines aus der antiferromagnetischen Schicht und dem AAF-System bestehenden Biasschichtsystems nicht einfach eingestellt werden kann. Hierfür ist es erforderlich, die Temperatur des Biasschichtsystems über die sogenannten blocking-
10 Temperatur der antiferromagnetischen Schicht zu erhöhen, so dass die Kopplung aufgehoben wird, gleichzeitig muss ein starkes externes Feld angelegt und in diesem anschließend abgekühlt werden. Dies ist vor allem bei Wheatston'schen Brückenschaltungen mit einander entgegengesetzt ausgerichteten
15 AAF-Systemen problematisch. Schwierigkeiten treten auch dann auf, wenn die Dicken der Magnetschichten des AAF-Systems annähernd identisch sind, da dann das AAF-System kein oder nur ein minimales Nettomoment besitzt und über das externe Feld nur schwer eingestellt werden kann.

20 Ein weiterer Nachteil der Verwendung eines AAF-Systems mit antiferromagnetischen Schichten ist darin zu sehen, dass die Dicke der antiferromagnetischen Schichten groß sein muss, um eine ausreichend hohe blocking-Temperatur zu erzielen. Hier-
25 durch nimmt der Abstand der zum Lesen und Schreiben benötigten, ober- und unterhalb des Schichtsystems verlaufenden und sich dort kreuzenden Leitungen, die im Allgemeinen als Wort- und Bitleitungen benannt werden, zu, was zu einer Abnahme der Feldstärke der bestromten Leiter am weichmagnetischen Lese-
30 und/oder Schreibschichtsystem führt, das hierüber gegebenenfalls geschaltet werden soll.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Speicherzeleineinrichtung anzugeben, die hinsichtlich der Magnetisierung
35 des Referenzschichtsystems einfach einstellbar ist und eine geringere Schichtsystemhöhe aufweist.

Zur Lösung dieses Problems ist bei einer digitalen Speichereinrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Referenzschichtsystem einen Schichtabschnitt umfassend wenigstens ein Biasschichtsystem mit wenigstens einer ferrimagnetischen Schicht aufweist, wobei die magnetischen Momente des Biasschichtsystems und der Referenzschicht über eine Kopplungsschicht entgegengesetzt gekoppelt sind.

- 10 Die Erfindung schlägt vorteilhaft den Einsatz eines Bias-
schichtsystems mit wenigstens einer ferrimagnetischen Schicht
vor, wobei die magnetischen Momente dieses Biasschichtsystems
bzw. der ferrimagnetischen Schicht mit denen der Referenz-
schicht gekoppelt sind und damit das Referenzschichtsystem
15 bilden. Eine ferrimagnetische Schicht zeichnet sich dadurch
aus, dass sie aus wenigstens zwei magnetischen Untergittern
besteht, deren magnetische Momente wie beim Antiferromagneten
antiparallel ausgerichtet sind. Jedoch kompensieren sich die
magnetischen Momente nicht vollständig, so dass ein resultie-
20 rendes magnetisches Nettomoment entsteht. Ein Ferrimagnet
verhält sich demnach nach außen wie ein Ferromagnet, ledig-
lich die Größe der Sättigungsmagnetisierung ist in der Regel
klein und die Temperaturabhängigkeit der Sättigung ist stär-
ker. Da der Temperaturverlauf der Magnetisierung der Unter-
25 gitter in der Regel unterschiedlich ist und die Untergitter
untereinander antiferromagnetisch koppeln (= antiparallel),
gibt es bei Ferrimagneten eine Temperatur, an der sich die
Momente gegenseitig aufheben (d.h. antiparallel gleich sind)
und das Nettomoment verschwindet. Diese Temperatur nennt man
30 Kompensationstemperatur. In der Nähe der Kompensationstempe-
ratur hat die ferrimagnetische Schicht also nur ein minimales
oder im Idealfall kein magnetisches Nettomoment. Während die
Magnetisierung der ferrimagnetischen Schicht außerhalb des
Kompensationstemperaturfensters durch ein relativ niedriges
35 externes Feld eingestellt werden kann und mit ihr die Aus-
richtung der gekoppelten Fixierschicht, ist in der Nähe der
Kompensationstemperatur jedoch die Magnetisierung der ferro-

magnetischen Schicht aufgrund des fehlenden magnetischen Net-
tomoments äußerst stabil. Legt man nun durch geeignete Mate-
rialwahl die Kompensationstemperatur der ferrimagnetischen
Schicht so, dass sie in der Nähe der Operationstemperatur der
5 Speicherzelleneinrichtung liegt, so erhält man ein äußerst
stabiles Biasschichtsystem. Durch Erhöhung oder Erniedrigung
der Temperatur in einen Bereich außerhalb dieser Kompensati-
onstemperatur ist die Einstellung der Magnetisierung des Bi-
asschichtsystems problemlos möglich. Die Temperaturänderung
10 kann in beide Richtungen erfolgen, da sich normalerweise beim
Durchtritt durch die Kompensationstemperatur das magnetische
Moment eines ferrimagnetischen Stoffes umkehrt.

Ein weiterer Vorteil der Verwendung der ferrimagnetischen
15 Schicht innerhalb des Referenzschichtsystems ist, dass die
Kopplung zur Referenzschicht eines damit verbundenen AAF-
Systems sehr hoch gewählt werden kann, und zwar in einer Grö-
ßenordnung von ca. 10 mJ/m^2 . Das heißt, das Referenzschicht-
system kann sehr stabil gemacht werden gegen externe Felder.

20 Die ferromagnetische Schicht kann ferner wesentlich dünner
sein als die bisher verwendete antiferromagnetische Schicht,
die zur Erzielung einer hohen blocking-Temperatur relativ
dick sein muss, weshalb die Dicke der gesamten Speicherzel-
leneinrichtung verringert werden kann. Die Wort- und Bitlei-
25 tung einer Speicherzelleneinrichtung liegen enger beieinan-
der, so dass ein hinreichend hohes Feld an das weichmagnetische
Lese- und Schreibschichtsystem gelegt werden kann. Ab-
standsbedingte Verluste können vermieden werden.

30 Insgesamt kann hierdurch eine äußerst stabile und dickenredu-
zierte Speicherzelleneinrichtung erhalten werden, die trotz
allem einfach hinsichtlich der Biasschichtmagnetisierung ein-
gestellt werden kann. Dies gilt auch bezüglich einer aus ei-
35 ner Vielzahl solcher Speicherzelleneinrichtungen gebildeten
Speichereinrichtung.

Die ferrimagnetische Schicht kann erfindungsgemäß aus einer Legierung eines magnetischen Übergangsmetalls und eines Selten-Erd-Metalls bestehen. Alternativ dazu kann die ferrimagnetische Schicht auch ein Mehrschichtsystem aus einem magnetischen Übergangsmetall und einem Selten-Erd-Metall sein. Als Übergangsmetall kann z. B. Eisen (Fe) oder Kobalt (Co) verwendet werden, als Selten-Erd-Metall kann z. B. Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd) oder Terbium (Tb) verwendet werden.

10

Für eine feste und stabile Kopplung der Momente der jeweils gekoppelten Schichten ist es zweckmäßig, wenn dies über eine RKKY-Kopplung (RKKY = Ruderman-Kittel-Kasuya-Joshida) erfolgt.

15

Das magnetische Nettomoment des ein AAF-System bildenden Referenzschichtsystems sollte im Operationsfenster der Speicherzelleneinrichtung verschwindend sein. Im Hinblick auf die zu erzielende möglichst hohe Stabilität ist ein Gesamtmoment von Null am Zweckmäßigsten.

20

Besonders vorteilhaft ist es, wenn mindestens eine Schicht des Referenzschichtsystems eine uniaxiale Anisotropie aufweist, längs welcher die Magnetisierung im Operationstemperaturfenster gerichtet ist. Die Anisotropie führt zu einer weiteren Versteifung des Systems. Die uniaxiale Anisotropie kann in Richtung einer leichten Achse der Speicherzelleneinrichtung, die ihrerseits durch die Geometrie und die Orientierung der Speicherzelleneinrichtung bestimmt wird, induziert werden.

30

Die uniaxiale Anisotropie kann im Rahmen einer ersten Erfindungsausgestaltung durch schräges Abscheiden der einen oder aller Schichten des Referenzschichtsystems erzeugt werden.

35

Die Schichten werden hierbei z. B. unter einem Winkel bezüglich der Ebene des Substrats aufgedampft.

Alternativ oder zusätzlich kann die uniaxiale Anisotropie auch durch Einprägen einer Vorzugsrichtung in einem bei der Schichtsystemerzeugung anliegenden Magnetfeld erzeugt sein. Hierbei bestimmt die Richtung des anliegenden Magnetfelds die
5 Vorzugsrichtung des dabei erzeugten Schichtsystems.

Eine weitere Möglichkeit der Anisotropieerzeugung ist eine Keimschicht, auf der das Referenzschichtsystem aufgewachsen ist. Diese Keimschicht besitzt selbst eine ausgezeichnete
10 Richtung, die sich auf das aufwachsende Schichtsystem überträgt und die Vorzugsrichtung oder die leichte Richtung definiert.

Eine weitere Möglichkeit ist die Erzeugung der uniaxialen Anisotropie durch Einprägen einer Vorzugsrichtung während einer thermischen Ausheilphase in einem Magnetfeld.
15

Eine andere Möglichkeit zur Anisotropieerzeugung sieht vor, dass die mindestens eine Schicht oder alle Schichten des Referenzschichtsystems, vorzugsweise dessen ferrimagnetische
20 Schicht einen großen Magnetostruktionskoeffizienten aufweist. In diesem Fall kann die uniaxiale Anisotropie durch anisotrope Verformungsrelaxation erzeugt sein. Zweckmäßig ist es hierbei, wenn die Kristallite der oder aller Schichten des
25 Referenzschichtsystems, zumindest die Kristallite der ferrimagnetischen Schicht eine längliche Form aufweisen.

Eine andere Möglichkeit zur Anisotropieerzeugung besteht schließlich darin, dass wenigstens eine Verformungs- oder
30 Spannungsschicht zur Verstärkung einer anisotropen Verformungsrelaxation vorgesehen ist. Diese Schicht kann z. B. aus SiO_2 sein. Durch die hierüber aufgrund des unterschiedlichen thermischen Ausdehnungsverhaltens induzierten Spannungen im Schichtsystem wird die Vorzugsrichtung induziert.

Es versteht sich von selbst, dass natürlich auch zwei oder mehr der beschriebenen Möglichkeiten zur Anisotropieerzeugung gleichzeitig angewandt werden können.

- 5 Schließlich kann ein ein weichmagnetisches Mehrschichtsystem und ein Referenzschichtsystem entkoppelndes Entkopplungsschichtsystem eine Metallschicht oder eine Isolierschicht oder eine Halbleiterschicht sein.
- 10 Die Speicherzelleneinrichtung selbst kann ein giant-magneto-resistive-, ein magnetic-tunnel-junction- oder ein spin-valve-transistor-System sein.

Schließlich betrifft die Erfindung neben der Speicherzellen-
15 einrichtung selbst eine digitale Speichereinrichtung, bestehend aus mehreren, in Form eines Arrays oder einer Matrix angeordneter Speicherzelleneinrichtungen der beschriebenen Art.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung er-
20 geben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Speicherzelleneinrichtung einer ersten Ausführungsform,
25

Fig. 2 ein Diagramm zur Darstellung des temperaturabhängigen Magnetisierungsverlaufs eines Ferrimagneten,

Fig. 3 eine erfindungsgemäße Speicherzelleneinrichtung einer zweiten Ausführungsform mit einem mehrschichtigen Biasschichtsystem,
30

Fig. 4 eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Speicherzelleneinrichtung einer dritten Ausführungsform mit einem mehrschichtigen AAF-Referenzschichtsystem,
35

Fig. 5 eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Speicherzelleneinrichtung einer vierten Ausführungsform mit einer Keimschicht zur Erzeugung einer Anisotropie, und

Fig. 6 eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Speicherzelleneinrichtung einer fünften Ausführungsform mit einer Spannungsschicht zur Erzeugung der Anisotropie.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Speicherzelleneinrichtung 1 einer ersten Ausführungsform. Diese besteht aus einem Referenzschichtsystem 2, das über eine Entkopplungsschicht 3 von einem Lese- und Schreibschichtsystem 4 entkoppelt ist. Gezeigt sind ferner die Wort- und Bitleitungen 5a, 5b, die oberhalb und unterhalb rechtwinklig zueinander verlaufen. Das Referenzschichtsystem 2 besteht aus einem Schichtabschnitt 6, der ein unteres Biasschichtsystem 7 umfasst, das im gezeigten Ausführungsbeispiel aus einer ferrimagnetischen Schicht 8 und einer damit gekoppelten ferromagnetischen Schicht 26 besteht. Im gezeigten Beispiel ist die ferrimagnetische Schicht 8 eine Legierungsschicht, wobei als Legierungskomponenten ein Übergangsmetall, z. B. Fe, Co, Ni und ein Selten-Erd-Metall, z.B. Gd, Dy, Tb verwendet werden können. Es bilden sich innerhalb der ferrimagnetischen Schicht 8 zwei magnetische Untergitter mit einander entgegengesetzten magnetischen Momenten M , wie in Fig. 1 durch die einander entgegengesetzt gerichteten Pfeile dargestellt ist. Die magnetischen Momente der beiden Untergitter sind jedoch hinsichtlich Anzahl und/oder Stärke verschieden, das heißt, sie kompensieren sich bis auf einen schmalen Kompensationstemperaturbereich nicht. Hieraus resultiert ein Nettomoment des Biasschichtsystems 7 im Bereich außerhalb des Kompensationstemperaturbereichs. Hierauf wird nachfolgend noch eingegangen.

Über ein antiferromagnetisches Kopplungsschichtsystem 9 wird das magnetische Nettomoment des Biasschichtsystems 7 antipa-

parallel mit den magnetischen Momenten M einer Referenzschicht 10 gekoppelt. Das heißt, die magnetischen Momente M und damit die Magnetisierung der Referenzschicht 10 steht zu dem resultierenden Nettomoment des Biasschichtsystems 7 entgegengesetzt. Das Referenzschichtsystem 2 bildet insgesamt ein AAF-System. Die Kopplung zwischen der Magnetisierung des Biasschichtsystems 7, also der ferrimagnetischen Schicht 8, der ferromagnetischen Schicht 26 und der Magnetisierung der Referenzschicht 10 ist sehr stark, das heißt, die Magnetisierung der Referenzschicht 10 ist sehr stabil ausgerichtet. Dieses Biasschichtsystem 7 bzw. die ferrimagnetische Schicht 8 selbst weist eine uniaxiale Anisotropie auf, längs welcher sich die Magnetisierungen der Untergitter ausrichten. Diese Anisotropie führt dazu, dass die Magnetisierung des Biasschichtsystems 7 selbst sehr stabil ist, was wiederum zur Stabilität des gesamten Referenzschichtsystems führt.

Fig. 2 beschreibt den Verlauf der temperaturabhängigen Magnetisierung der ferrimagnetischen Schicht 8. Gezeigt ist längs der Abszisse die anliegende Temperatur, längs der Ordinate die jeweilige Magnetisierung des Untergitters der Übergangsmetallkomponente (J_{TM}), die Magnetisierung der Selten-Erd-Komponente (J_{RE}) sowie die resultierende Nettomagnetisierung ($J_{RE} - J_{TM}$).

Anhand des Verlaufs der Nettomagnetisierung $J_{RE} - J_{TM}$ ist ersichtlich, dass im gezeigten Ausführungsbeispiel aufgrund der größeren Magnetisierung J_{RE} der Selten-Erd-Komponente eine mit zunehmender Temperatur abnehmende Gesamtmagnetisierung gegeben ist. Bei einer Kompensationstemperatur T_{comp} ist die Gesamtmagnetisierung jedoch Null, das heißt, die Magnetisierungen J_{RE} und J_{TM} sind bei entgegengesetzter Ausrichtung gleich groß. Mit weiterer Temperaturerhöhung überwiegt die Magnetisierung J_{TM} . Die Gesamtmagnetisierung bricht bei Erreichen der Curietemperatur T_c zusammen.

Ersichtlich ist ferner, dass die Koerzitivfeldstärke H_c um diese Kompensationstemperatur T_{comp} sehr stark ansteigt bzw. bei der Kompensationstemperatur T_{comp} aufgrund des hier gegebenen Nettomoments von Null unendlich ist.

5

Gemäß der Erfindung wird nun die ferrimagnetische Schicht 8 so hinsichtlich der verwendeten Materialien, ihrer Dimensionierung und ihrer Geometrie etc. gewählt, dass der Bereich um die Kompensationstemperatur T_{comp} in dem Operationstemperaturbereich, innerhalb welchem die Speicherzelleneinrichtung 1 betrieben wird, liegt oder mit diesem zusammenfällt. Das heißt, beim normalen Betrieb der Speicherzelleneinrichtung ist das magnetische Gesamtmoment der ferrimagnetischen Schicht annähernd Null, das heißt, sie ist sehr stabil gegen ein anliegendes externes Feld, da die Koerzitivfeldstärke H_c sehr groß ist. Das bedeutet, dass auch die Kopplung zur Referenzschicht 10 sehr stabil ist, da die die Kopplung bewirkende ferrimagnetische Schicht 8 bzw. das Biasschichtsystem 7 sich im anliegenden Feld nicht ändert.

20

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Ausrichtung der Magnetisierung der Referenzschicht 10 relativ einfach ist. Die Magnetisierung der Referenzschicht 10 muss bei derartigen Speicherzelleneinrichtungen bekanntermaßen sehr stabil sein. Das Signal, dessen Höhe ein Maß für die eingeschriebene Information ist, ist bekanntermaßen abhängig von der Richtung der Magnetisierung des weichmagnetischen Messschichtsystems 4, die in dem anliegenden externen und zu messenden Magnetfeld sehr leicht drehbar ist, bezüglich der Richtung der feststehenden, harten Magnetisierung der Referenzschicht 10. Infolgedessen ist es erforderlich, diese Magnetisierung der Referenzschicht 10 einzustellen.

30

Diese Ausrichtung ist bei der erfindungsgemäßen Speicherzelleneinrichtung aufgrund der Verwendung der ferrimagnetischen Schicht 8 relativ einfach. Hierzu muss lediglich die Temperatur soweit erhöht oder erniedrigt werden, dass man sich aus

35

dem Bereich um die Kompensationstemperatur T_{comp} weit genug hinausbewegt, so dass ein resultierendes Nettomoment gegeben ist. Durch ein vergleichsweise geringes externes Feld kann nun die Magnetisierung der ferrimagnetischen Schicht eingestellt werden, zumal die Koerzitivfeldstärke einer ferrimagnetischen Schicht relativ niedrig ist. Aufgrund der sich dann ergebenden Kopplung zur Referenzschicht 10 stellt sich dessen Magnetisierung wiederum antiparallel ein. Durch einfache, geringe Temperaturerhöhung oder Erniedrigung unter Verwendung eines geringen Einstellfelds kann also die Magnetisierung der ferrimagnetischen Schicht in die gewünschte Richtung, in welcher die ferrimagnetische Schicht bevorzugt eine uniaxiale Anisotropie aufweist, eingestellt werden. Es ist nicht wie beim Stand der Technik unter Verwendung eines natürlichen Antiferromagneten mit aufgesetztem AAF-System erforderlich, eine hohe Temperatur anzufahren, um über die blocking-Temperatur zu kommen und anschließend in einem hohen externen Magnetfeld abzukühlen.

Fig. 3 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Speicherzelleneinrichtung 11. Auch hier ist ein Referenzschichtsystem 2' vorgesehen, bestehend aus einem Biasschichtsystem 7', einer antiferromagnetischen Kopplungsschicht 9' sowie einer Referenzschicht 10'. Im Unterschied zum Biasschichtsystem 7 aus Fig. 1 ist das Fixierschichtsystem 7 ein Mehrschichtsystem bestehend aus separaten Schichten 8', 8'', wobei die eine Schicht 8' z. B. vom Übergangsmetall und die Schicht 8'' vom Selten-Erd-Metall gebildet ist. Die Funktionsweise bzw. die Eigenschaften dieses Fixierschichtsystems 7' sind jedoch die gleichen wie des Systems aus Fig. 1.

Fig. 4 zeigt als Prinzipskizze eine Speicherzelleneinrichtung 12 mit einem mehrschichtigen Referenzschichtsystem 2''. Sie umfasst einen unteren Schichtabschnitt 2''a bestehend aus einer unteren Ferromagnetschicht 27 (z.B. Co), einer ferrimagnetischen Schicht 28 (z.B. CoTb) und einer oberen Ferromagnetschicht 29 (z.B. Co). Über eine antiferromagnetisch

koppelnde Zwischenschicht 30 (z.B. Cu oder Ro) ist ein oberer Schichtabschnitt 2''b mit seiner unteren ferromagnetischen Schicht 31 (z.B. Co) gekoppelt. Auf der Schicht 31 ist wiederum eine ferrimagnetische Schicht 32 (z.B. CoTb) und auf
5 dieser eine ferromagnetische Schicht 33 (z.B. Co) aufgebracht. Über eine Entkopplungsschicht 34 ist schließlich das eigentliche Lese- und Schreibschichtsystem 35 entkoppelt. Der gesamte Referenzschichtaufbau bildet ein AAF-System.

- 10 Fig. 5 zeigt schließlich eine weitere erfindungsgemäße Speicherzelleneinrichtung 13, die in ihrem Aufbau im gezeigten Ausführungsbeispiel dem aus Fig. 1 entspricht. Zur Erzeugung einer Anisotropie in dem Biasschichtsystem 7''' ist hier eine Keimschicht 14 vorgesehen, auf welcher das Biasschichtsystem
15 7''' bzw. die ferrimagnetische Schicht 8''' abgeschieden ist. Die Keimschicht besitzt eine Vorzugsrichtung bzw. Anisotropie, die sich beim Schichtwachstum auf die ferrimagnetische Schicht 8''' überträgt. Längs dieser Anisotropie oder leichten Richtung stellt sich die Magnetisierung der jeweiligen
20 Untergitter bevorzugt ein.

Eine weitere Möglichkeit der Erzeugung dieser Anisotropie ist bezüglich der in Fig. 6 gezeigten Speicherzelleneinrichtung 15 beschrieben, die im Aufbau dem aus Fig. 5 ähnlich ist.

- 25 Dort ist jedoch anstelle der Keimschicht 14 (die natürlich ebenfalls vorgesehen sein könnte) auf das Biasschichtsystem 7'''' bzw. die ferrimagnetische Schicht 8'''' eine Spannungsschicht 16 aufgebracht, z. B. aus SiO_2 , die in die ferrimagnetische Schicht uniaxial gerichtete Spannungen induziert,
30 die wiederum eine uniaxiale Anisotropie induzieren.

- Neben den in Figuren 5 und 6 beschriebenen Möglichkeiten zur Induzierung oder Erzeugung einer uniaxialen Anisotropie besteht natürlich auch die Möglichkeit, diese durch ein schräges Abscheiden der ferrimagnetischen Schicht oder durch Einprägen einer Vorzugsrichtung in einem anliegenden Feld, gegebenenfalls während eines thermischen Ausheilschritts oder un-
- 35

ter Verwendung einer ferrimagnetischen Schicht mit einem großen Magnetostruktionskoeffizienten und gegebenenfalls entsprechender Formgabe der Schichtkörner zu erzeugen. Dem Fachmann sind hinreichende Möglichkeiten zur Erzeugung einer Anisotropie bekannt, die er sämtlich einzeln oder in Kombination anwenden kann.

Patentansprüche

1. Digitale magnetische Speicherzelleneinrichtung für Lese-
5 und/oder Schreiboperationen, mit einem weichmagnetischen Le-
se- und/oder Schreibschichtsystem und mindestens einem hart-
magnetischen, als AAF-System ausgebildeten Referenzschicht-
system mit wenigstens einer Referenzschicht, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass das Referenzschichtsys-
10 tem (2, 2', 2'', 2'''a, 2'''b) einen Schichtabschnitt umfas-
send wenigstens ein Biasschichtsystem (7, 7', 7'', 7''')
mit wenigstens einer ferrimagnetischen Schicht (8, 8'',
8''') aufweist, wobei die magnetischen Momente des Bias-
schichtsystems (7, 7', 7'', 7''') und der Referenzschicht
15 (10, 10', 10''a) über eine Kopplungsschicht (9, 9') entgegen-
gesetzt gekoppelt sind.
2. Speicherzelleneinrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die ferrimagnetische
20 Schicht (8) aus einer Legierung eines magnetischen Übergangs-
metalls und eines Selten-Erd-Metalls besteht.
3. Speicherzelleneinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Bias-
25 schichtsystem lediglich aus der ferrimagnetischen Schicht (8)
besteht.
4. Speicherzelleneinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis
3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
30 ferrimagnetische Schicht ein Mehrschichtsystem (8', 8'') aus
einem magnetischen Übergangsmetall und einem Selten-Erd-
Metall ist.
5. Speicherzelleneinrichtung nach einem der vorangehenden An-
35 sprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Momente zumindest eines Teils der jeweils gekoppel-

ten Schichten über die jeweilige Kopplungsschicht durch eine RKKY-Kopplung gekoppelt sind.

6. Speicherzelleneinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das magnetische Nettomoment des ein AAF-System bildenden Referenzschichtsystems (2, 2', 2'', 2'''a, 2'''b) im Operationsfenster der Speicherzelleneinrichtung (1. 11, 12, 13, 15, 18) deutlich kleiner als bei Sättigung und vorzugsweise Null ist.

7. Speicherzelleneinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Schicht des Referenzschichtsystems (2, 2', 2'', 2'''a, 2'''b) eine uniaxiale Anisotropie aufweist.

8. Speicherzelleneinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die uniaxiale Anisotropie durch schräges Abscheiden der einen oder aller Schichten des Referenzschichtsystems (2, 2', 2'', 2'''a, 2'''b) erzeugt ist.

9. Speicherzelleneinrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die uniaxiale Anisotropie durch Einprägen einer Vorzugsrichtung in einem bei der Schichtsystemerzeugung anliegenden Magnetfeld erzeugt ist.

10. Speicherzelleneinrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die uniaxiale Anisotropie mittels einer Keimschicht (14), auf der das Referenzschichtsystem aufgewachsen ist erzeugt ist.

11. Speicherzelleneinrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die uniaxiale Anisotropie durch Einprägen einer Vorzugsrich-

tung während einer thermischen Ausheilphase in einem Magnetfeld erzeugt ist.

12. Speicherzelleneinrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 5 11, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Schicht oder alle Schichten des Referenzschichtsystems, vorzugsweise dessen ferrimagnetische Schicht einen großen Magnetostruktionskoeffizienten aufweist.

10 13. Speicherzelleneinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die uniaxiale Anisotropie durch anisotrope Verformungsrelaxation erzeugt ist.

15 14. Speicherzelleneinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Kristallite der einen oder aller Schichten des Referenzschichtsystems, vorzugsweise die Kristallite der ferrimagnetischen Schicht eine längliche Form aufweisen.

20 15. Speicherzelleneinrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Verformungs- oder Spannungsschicht (16) zur Verstärkung einer anisotropen Verformungsrelaxation vorgesehen 25 ist.

16. Speicherzelleneinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzschichtsystem (2'') aus zwei Schichtabschnitten (2''a, 2''b) besteht, von denen jeder zwei ferromagnetische Schichten (27, 29, 31, 33) mit einer dazwischen angeordneten ferrimagnetischen Schicht (28, 32) aufweist, wobei die Schichtsysteme über eine antiferromagnetisch koppelnde Zwischenschicht (30) gekoppelt sind.

35 17. Speicherzelleneinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

18

dass ein ein weichmagnetisches Messschichtsystem (4, 4''')
und ein Referenzschichtsystem (2, 2', 2'', 2'''a, 2'''b) ent-
koppelndes Entkopplungsschichtsystem (3, 3''') eine Metall-
schicht oder eine Isolierschicht oder eine Halbleiterschicht
5 ist.

18. Speicherzelleneinrichtung nach einem der vorangehenden
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es ein giant-magnetoresistive, ein magnetic-tunnel-
10 junction oder ein spin-valve-transistor-System ist.

19. Digitale Speichereinrichtung, umfassend mehrere Speicher-
zelleneinrichtungen nach einem der Ansprüche 1 bis 18.

1/2

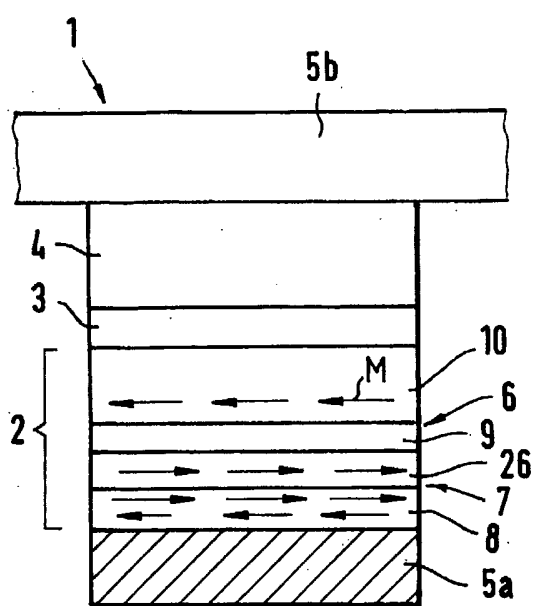


FIG 1

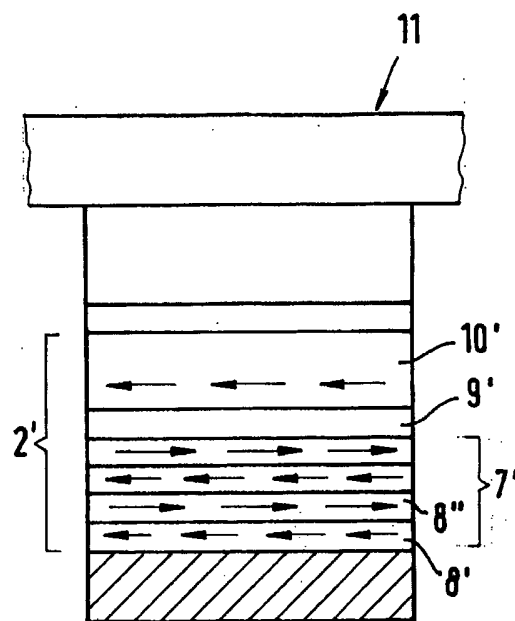


FIG 3

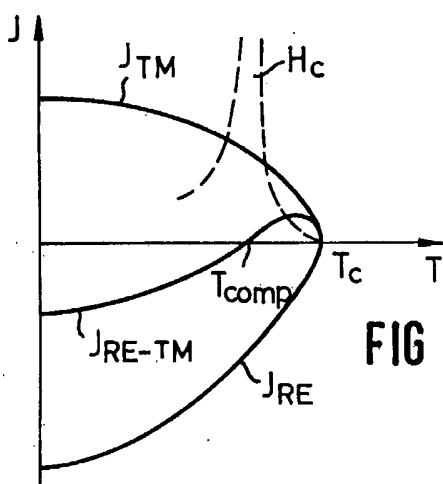


FIG 2

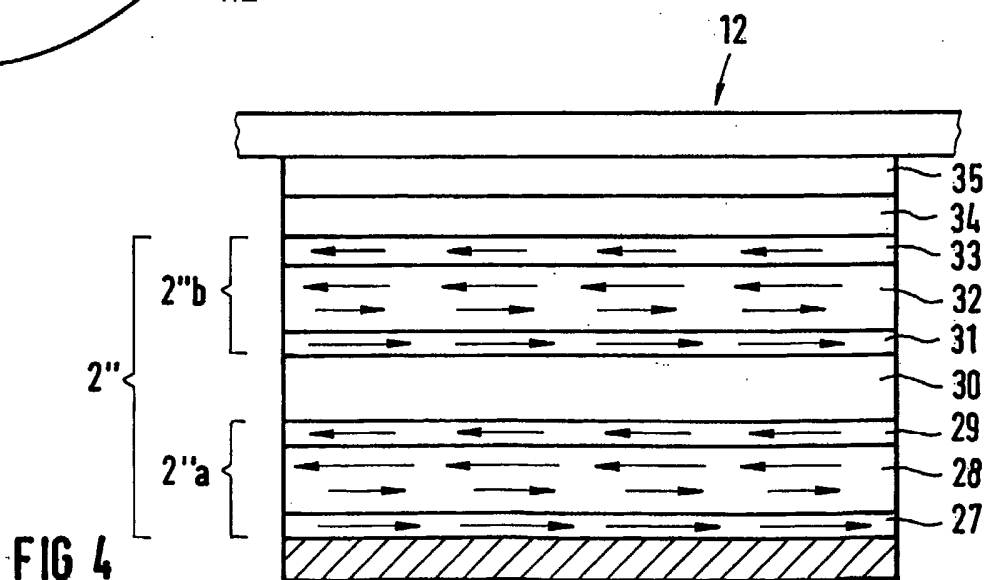


FIG 4

2/2

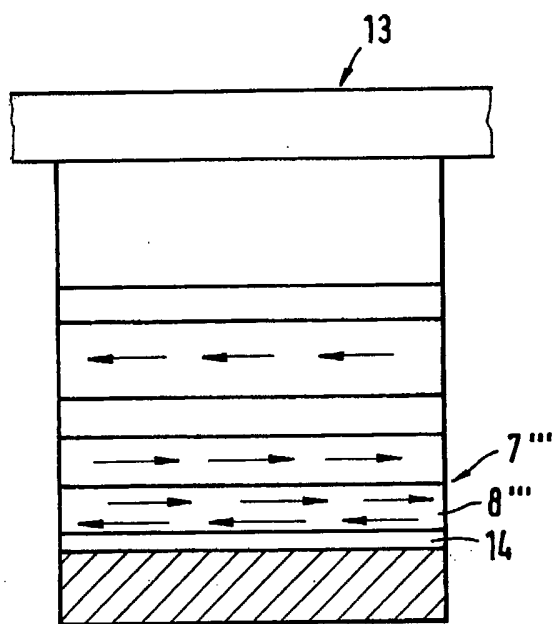


FIG 5

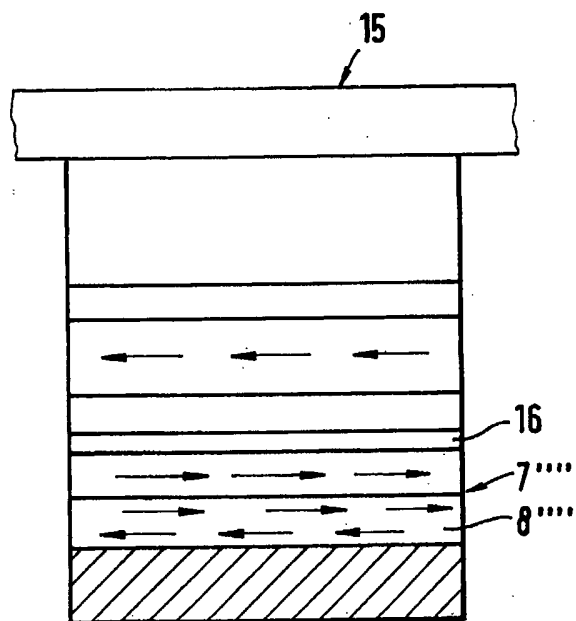


FIG 6