

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第5113135号
(P5113135)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月19日(2012.10.19)

(51) Int.Cl. F I

HO 1 L 43/08 (2006.01)

HO 1 L 43/10 (2006.01)

HO 1 L 21/8246 (2006.01)

HO 1 L 27/105 (2006.01)

HO 1 L 29/82 (2006.01)

HO 1 L 43/08 M

HO 1 L 27/10 4 4 7

HO 1 L 43/08 Z

HO 1 L 29/82 Z

請求項の数 12 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2009-251256 (P2009-251256)	(73) 特許権者	304039548
(22) 出願日	平成21年10月30日 (2009.10.30)		コリア・インスティテュート・オブ・サイ
(65) 公開番号	特開2010-109372 (P2010-109372A)		エンス・アンド・テクノロジー
(43) 公開日	平成22年5月13日 (2010.5.13)		大韓民国, ソウル 136-791, ソン
審査請求日	平成21年10月30日 (2009.10.30)		ブクーク, ファランノ 14-ギル 5
(31) 優先権主張番号	10-2008-0106942	(74) 代理人	100099759
(32) 優先日	平成20年10月30日 (2008.10.30)		弁理士 青木 篤
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)	(74) 代理人	100092624
			弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100122965
			弁理士 水谷 好男
		(74) 代理人	100165191
			弁理士 河合 章
		(74) 代理人	100160716
			弁理士 遠藤 力

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二重磁気異方性自由層を有する磁気トンネル接合構造

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定された磁化方向を有する第 1 磁性層と、
反転可能な磁化方向を有する第 2 磁性層と、
前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に形成される非磁性層と、
前記第 2 磁性層との磁性結合により前記第 2 磁性層の磁化方向を前記第 2 磁性層の平面
に対して傾斜させ、垂直磁気異方性エネルギーが水平磁気異方性エネルギーより大きい第
3 磁性層と、
前記第 2 磁性層と前記第 3 磁性層との間に形成され、前記第 2 磁性層と前記第 3 磁性層
が異なる結晶配向性を有するように分離する結晶構造分離層と
を含み、
前記結晶構造分離層が非晶質構造を有し、
前記第 2 磁性層が体心立方（B C C）格子構造を有し、前記第 3 磁性層が面心立方（F
C C）格子構造又は稠密六方（H C P）格子構造を有する、
ことを特徴とする磁気トンネル接合構造。

【請求項 2】

前記第 3 磁性層の磁化容易軸が、前記第 2 磁性層の平面に対して垂直方向に配向される
ことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 3】

前記第 2 磁性層の磁化方向が前記第 2 磁性層の平面に対して傾斜した角度 θ は、 -30

$^{\circ} \leq \theta < 0^{\circ}$ 又は $0^{\circ} < \theta \leq 30^{\circ}$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 4】

前記第 1 磁性層が磁性層／非磁性層／磁性層の積層構造を有することを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 5】

前記第 1 磁性層及び前記第 2 磁性層が、それぞれ CoFeX （ここで、 X は B 、 Re 、 Rh 、 Cr 、 Cu 、 Gd 、及び Tb からなる群から選択された少なくとも 1 つ）を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 6】

前記非磁性層が絶縁体又は半導体を含み、前記絶縁体が MgO 、 Al_2O_3 、 HfO_2 、 TiO_2 、 Y_2O_3 、及び Yb_2O_3 からなる群から選択された少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 7】

前記第 3 磁性層が、 GdFeCo 又は TbFeCo を含むか、又は $[\text{Co}/\text{Pt}]_n$ 、 $[\text{Co}/\text{Pd}]_n$ 、 $[\text{Ni}/\text{Pt}]_n$ 、又は $[\text{CoCr}/\text{Pt}]_n$ 系多層薄膜（ここで、 n は 1 と 10 の間）を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 8】

前記第 3 磁性層が $[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ 又は $[\text{CoX合金}/\text{Ni}]_n$ 系多層薄膜を含み、ここで、 n は 1 と 10 の間であり、 X は B 、 Re 、 Rh 、 Cr 、 Cu 、 Gd 、及び Tb からなる群から選択された少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 9】

前記結晶構造分離層が、 $200 \sim 600^{\circ}\text{C}$ の温度で熱処理時に非晶質構造を有する物質を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 10】

前記結晶構造分離層が、 Ru 、 Ta 、 Re 、及び Rh からなる群から選択された少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 11】

前記第 3 磁性層上に形成され、前記第 3 磁性層の垂直磁気異方性エネルギーを増大させるバッファ層をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項 12】

前記バッファ層が、 Au 、 Cu 、 Pd 、 Pt 、 Ta 、及びダイヤモンド状炭素からなる群から選択された少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 11 に記載の磁気トンネル接合構造。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、再生信号値を増大させるとともにスイッチングに必要な臨界電流値を下げた二重磁気異方性自由層を有する磁気トンネル接合（Magnetic Tunnel Junction; MTJ）構造に関する。本発明は、磁気抵抗 RAM（Magnetoresistive RAM）又は超高周波振動子などに活用されている。

【背景技術】

【0002】

実用化の検討が進んでいる磁気ランダムアクセスメモリ（Magnetic Random Access Memory; MRAM）においては、メモリセルに磁気抵抗素子として強磁性トンネル接合を形成する磁気トンネル接合（MTJ）素子を利用している。MTJ 素子は、主に磁性層／非磁性層／磁性層からなる 3 層膜で構成され、電流は非磁性層（トンネル障壁層）をトンネルして流れる。他の MTJ 素子の構造として、磁界感度の改善を目的として一方の磁性層に隣接して反強磁性層を配置し、磁化方向を固定した、いわゆるスピバルブ構造が知られて

10

20

30

40

50

いる。

【0003】

一般に、このようなMRAMの場合、磁界により単位セルを構成する強磁性体の磁化状態を変化させる。近年、これとは異なり、電流を印加して強磁性体の磁化状態を変化させる、電流印加方式の磁気抵抗素子が注目されている。電流印加方式の磁気抵抗素子とは、磁場を印加することにより磁性層の磁化方向を制御する通常の磁気抵抗素子とは異なり、電流を印加することにより磁性層の磁化方向を制御する素子をいう。

【0004】

電流印加方式の磁気抵抗素子が情報を読み取る方式は、磁界印加方式のMTJ素子又はGMR (Giant Magneto Resistance) 素子を利用する場合と同様である。素子は、自由磁性層と固定磁性層間の相対的な磁化方向が平行であれば、低い抵抗値を有し、自由磁性層と固定磁性層間の相対的な磁化方向が反平行であれば、高い抵抗値を有するが、これはそれぞれデジタル情報「0」と「1」に対応させることができる。

10

【0005】

電流印加方式の磁気抵抗素子と磁界印加方式のMTJ素子又はGMR素子との重要な相違点は、情報を記録する方式にある。固定磁性層と自由磁性層の磁化方向が逆であり、電子が固定磁性層から自由磁性層に移動する場合は、固定磁性層によりスピン分極された電流が自由磁性層に注入される。このとき、電子のスピン角運動量が自由磁性層に伝達され、電子のスピン角運動量が所定の程度を超えると、自由磁性層の磁化方向が固定磁性層と同じ方向に反転する。それに対して、固定磁性層と自由磁性層の磁化方向が同一であり、電子が自由磁性層から固定磁性層に移動する場合は、固定磁性層と同じ方向のスピンを有する電子は固定磁性層に引き込まれて通過し、固定磁性層とは逆方向のスピンを有する電子の一部は非磁性層と固定磁性層の界面で反射して自由磁性層に戻ってくる。この電子が自由磁性層のスピン方向とは逆方向にトルクを作用させることにより、自由磁性層の磁化方向を反転させて、2つの磁性層の磁化方向を反平行にする。

20

【0006】

その他、電流印加方式の磁気抵抗素子は、同じ原理を利用してマイクロ波領域の周波数帯域で電流による発振素子に応用することもできる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0007】

このような電流印加方式の磁気抵抗素子においては、磁化方向の反転に必要な電流が大きいという問題があり、素子を駆動するための駆動回路の構成が難しい。一般に、電流印加方式の磁気抵抗素子を利用してメモリを構成するためには、各素子に1つのトランジスタを接続する。通常、1つのトランジスタが取り扱える電流の大きさが限られており、より大きな電流を流すためには、トランジスタのサイズを大きくしなければならない。

【0008】

このような問題は、素子の駆動に必要な電力の増加を招くだけでなく、素子の集積度にも否定的な影響を及ぼす。

【0009】

40

そこで、電流印加方式の磁気抵抗素子においては、磁化方向の反転に必要な電流を低減することが要求される。

【0010】

本発明は、このような従来技術の問題を解決するためになされたもので、再生信号値を増大させるとともに磁化反転に必要な臨界電流値を下げた磁気トンネル接合構造を提供することを目的とする。

【0011】

本発明の他の目的は、高いスピン分極率と高い磁気抵抗比が得られる磁気トンネル接合構造を提供することにある。

【0012】

50

本発明のさらに他の目的は、熱処理過程などの後工程及びメモリ動作において熱的安定性が向上した磁気トンネル接合構造を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記の目的を達成するために、本発明は、固定された磁化方向を有する第1磁性層と、反転可能な磁化方向を有する第2磁性層と、前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に形成される非磁性層と、前記第2磁性層との磁性結合により前記第2磁性層の磁化方向を前記第2磁性層の平面に対して傾斜させ、垂直磁気異方性エネルギーが水平磁気異方性エネルギーより大きい第3磁性層と、前記第2磁性層と前記第3磁性層との間に形成され、前記第2磁性層と前記第3磁性層が異なる結晶配向性を有するように分離する結晶構造分離層とを含むことを特徴とする磁気トンネル接合構造を提供する。

10

【0014】

前記磁気トンネル接合構造は、前記第3磁性層上に形成され、前記第3磁性層の垂直磁気異方性エネルギーを増大させるバッファ層をさらに含んでもよい。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、

第一に、磁気トンネル接合構造の構成において、非磁性層（すなわち、トンネル障壁層）に隣接する第2磁性層に垂直磁気異方性エネルギーの大きい第3磁性層を磁氣的に結合させて、前記第2磁性層と前記第3磁性層間の磁性結合により、電流非印加時の前記第2磁性層の磁化方向を水平方向（すなわち、前記第2磁性層の平面）に対して傾斜させることにより、磁化反転に必要な臨界電流値を大幅に下げることができる。

20

【0016】

第二に、磁気トンネル接合構造の構成において、非磁性層に隣接する自由磁性層及び固定磁性層が水平磁気異方性（ $\pm 30^\circ$ 以内の傾斜角を有する場合を含む）を有するようにして、高いスピン分極率と高い磁気抵抗比を得ることができる。

【0017】

第三に、垂直磁気異方性エネルギーの大きい磁性層の構成物質として、熱処理過程で素子特性が劣化しない物質を使用することにより、熱的安定性、製造収率、及びメモリの信頼性を向上させる。

30

【0018】

第四に、結晶構造分離層の導入により、第3磁性層の構成物質として面心立方（Face Centered Cubic; FCC）格子構造又は稠密六方（Hexagonal Close-Packed; HCP）格子構造を有する垂直磁気異方性物質を導入しても、体心立方（Body Centered Cubic; BCC）格子構造を有する場合に最も優れた特性（例えば、コヒーレントトンネル（coherent tunneling）特性）を示す第2磁性層の結晶構造を破壊せず、高い磁気抵抗比とともに磁化方向の傾斜角を持たせることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の一実施形態による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

40

【図2】本発明の他の実施形態による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図3】本発明のさらに他の実施形態による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図4】本発明のさらに他の実施形態による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図5】本発明のさらに他の実施形態による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図6】本発明のさらに他の実施形態による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図7】第3磁性層を $[\text{Co/Ni}]_n$ 系多層薄膜で構成した場合のM-Hヒステリシスループである。

【図8】結晶構造分離層を導入しない場合の磁気抵抗曲線を示すグラフである。

【図9】図6の磁気トンネル接合構造（結晶構造分離層を導入した場合）の磁気抵抗曲線を示すグラフである。

50

【図10】図5の磁気トンネル接合構造において垂直磁気異方性が非常に大きい第3磁性層を使用した場合の磁気抵抗曲線を示すグラフである。

【図11】図5の磁気トンネル接合構造において垂直磁気異方性が小さい第3磁性層を使用した場合の磁気抵抗曲線を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、添付図面を参照して本発明の好ましい実施状態を詳細に説明する。

【0021】

図1～図6に示すように、本発明の各実施形態による磁気トンネル接合構造は、第1磁性層10と、非磁性層20と、第2磁性層30と、第3磁性層40と、結晶構造分離層50とを含む。

10

【0022】

ここで、第2磁性層30、結晶構造分離層50、及び第3磁性層40は、自由磁性層又は自由磁化層と総称することもある。

【0023】

第1磁性層10は、固定された磁化方向を有する固定磁化層であって、水平磁気異方性を有し、非磁性層20により第2磁性層30と分離されている。第1磁性層10の磁化方向は、薄膜による形状磁気異方性（すなわち、水平磁気異方性）により、第1磁性層10の平面（すなわち、第1磁性層10の薄膜面、水平方向）とほぼ平行である。第1磁性層10は、CoFeX（ここで、XはB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、及びTbからなる群から選択された少なくとも1つ）を含んでもよい。また、図4～図6に示すように、第1磁性層10は、磁性層11／非磁性層12／磁性層13の積層構造を有する合成反強磁性層（synthetic ferri-magnetic tri-layer）であってもよい。例えば、CoFeB（非磁性層に隣接する層）／Ru／CoFeなどの積層構造を有する。このように3層構造を用いる場合、単一層を使用する場合に比べて、熱的安定性の改善や臨界電流密度の改善などの効果が得られる。

20

【0024】

非磁性層20は、第1磁性層10と第2磁性層30との間に形成され、トンネル障壁の役割を果たす。非磁性層20は、絶縁体又は半導体からなり、絶縁体としてはMgO、Al₂O₃、HfO₂、TiO₂、Y₂O₃、及び／又はYb₂O₃などが使用される。非磁性層20としてMgOを使用した場合、コヒーレントトンネルにより高い磁気抵抗比が得られる。非磁性層20の厚さは、0.7～2nmであることが好ましい。非磁性層20の厚さが0.7nmより薄いと、スピンフィルター効果が減少してTMR比が減少し、ピンホールなどが発生して漏れ電流が発生する恐れがある。非磁性層20の厚さが2nmより厚いと、抵抗面積積（RA）が大きくなって素子の駆動電圧が過度に大きくなるという問題がある。

30

【0025】

第2磁性層30は、反転可能な磁化方向を有する自由磁化層であって、傾斜した水平磁気異方性を有する。第3磁性層40がない場合、第2磁性層30の磁化方向は、薄膜による形状磁気異方性（すなわち、水平磁気異方性）により、第2磁性層30の平面とほぼ平行になる。しかしながら、本発明においては、第2磁性層30と垂直磁気異方性の大きい第3磁性層40とが結晶構造分離層50を介して磁性結合されているため、第2磁性層30の磁化方向は水平方向（すなわち、第2磁性層30の平面（薄膜面））に対して傾斜する。前記傾斜角度 θ は、 $-30^\circ \leq \theta < 0^\circ$ 又は $0^\circ < \theta \leq 30^\circ$ であることが好ましい。第2磁性層30は、CoFeX（ここで、XはB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、及びTbからなる群から選択された少なくとも1つ）を含んでもよい。第2磁性層30の厚さは、1～5nmであることが好ましい。第2磁性層30が薄すぎると、十分なスピン分極が得られず、第2磁性層30が厚すぎると、電流による磁化反転効果が減少する。

40

【0026】

第3磁性層40は、結晶構造分離層50に隣接するように形成され、第2磁性層30と

50

の磁性結合により、第2磁性層30の磁化方向を第2磁性層30の平面に対して傾斜させる。第3磁性層40は、垂直磁気異方性エネルギー（すなわち、第3磁性層40の平面に対して垂直方向の磁気異方性エネルギー）（uniaxial magnetic anisotropy energy; K_u ）が水平磁気異方性エネルギー（すなわち、薄膜による形状磁気異方性エネルギー）（ $2\pi M_s^2$ 、ここで M_s は飽和磁化（saturation magnetization））より大きい。さらに、図1～図6に示すように、第3磁性層40の垂直磁気異方性エネルギーが非常に大きくて、磁化容易軸（magnetic easy axis）が水平方向（すなわち、第2磁性層30の平面又は第3磁性層40の平面）に対して垂直方向に配向されることが好ましい。

【0027】

場合によっては、第3磁性層40の垂直方向への磁化を容易にするために、図3及び図6に示すように、第3磁性層40上にバッファ層60を形成してもよい。バッファ層60は、Au、Cu、Pd、Pt、Ta、及びダイヤモンド状炭素からなる群から選択された少なくとも1つを含む。

10

【0028】

第3磁性層40が垂直磁気異方性を有するようにするために、第3磁性層40の構成物質として、GdFeCo、TbFeCoなどの希土類遷移金属合金を使用してもよく、 $[\text{Co}/\text{Pt}]_n$ 、 $[\text{Co}/\text{Pd}]_n$ 、 $[\text{Ni}/\text{Pt}]_n$ 、又は $[\text{CoCr}/\text{Pt}]_n$ 系などの多層薄膜（ここで、 n は1と10の間）を使用してもよい。

【0029】

第3磁性層40は、 $[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ 又は $[\text{CoX合金}/\text{Ni}]_n$ 系多層薄膜を含むことがより好ましいが、これは、これらの多層薄膜が、電気抵抗が小さくて製造コストが低いだけでなく、希土類系薄膜に比べて熱処理などの後工程やメモリ動作において熱的安定性に優れ、製造収率とメモリの信頼性を向上させる利点があるからである。ここで、 n は1と10の間であり、 X はB、Re、Rh、Cr、Cu、Gd、及びTbからなる群から選択された少なくとも1つである。

20

【0030】

また、前記 Co/Ni 又は $\text{CoX合金}/\text{Ni}$ の繰り返し回数により、垂直磁気異方性の程度を示す垂直磁気異方性エネルギーを調節することができる。これにより、第2磁性層30内の磁化方向の傾斜角（又は、偏向角）を制御することができる。例えば、第3磁性層40が $[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ の多層薄膜からなる場合、Coの厚さは0.2～0.4nmであり、Niの厚さは0.4～1.4nmであることが好ましく、繰り返し回数は目的に応じて1～10回から選択すればよい。Co及びNiの厚さが前記範囲から外れる場合、所望の垂直磁気異方性を得ることが困難になる。高い垂直磁気異方性を得るためには、Co及びNi層を薄くし、低い垂直磁気異方性を得るためには、Co及びNi層を厚くすることが好ましい。

30

【0031】

また、第3磁性層40が $[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ 系の場合、第2磁性層30に近い層をNiにするかCoにするかによって、第2磁性層30と第3磁性層40間の磁氣的結合度（magnetic coupling）を制御することができる。本発明においては、2つの積層方式の両方を用いることができる。これは第3磁性層40が $[\text{CoX合金}/\text{Ni}]_n$ 系の場合も同様である。

40

【0032】

$[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ 系多層薄膜を利用して垂直磁気異方性を実現した例を図7に示す。図7において、実線は、薄膜面に対して垂直方向に磁場を印加して測定した磁化－磁場曲線である。残留磁化値（外部磁場 $H=0$ のときの磁化 M の値）が飽和磁化値とほぼ同一であり、薄膜面に対して垂直方向が磁化容易軸であることが分かる。それに対して、点線は、薄膜面に対して水平方向に磁場を印加して測定した磁化－磁場曲線である。残留磁化値が0に近くて、この方向が磁化困難軸であることが分かる。この実験結果は製造した $[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ 系多層薄膜が垂直磁気異方性を有することを明確に示す。

【0033】

50

一方、結晶構造分離層 50 は、第 2 磁性層 30 と第 3 磁性層 40 との間に形成され、第 2 磁性層 30 と第 3 磁性層 40 間の磁氣的結合を誘導し、第 2 磁性層 30 と第 3 磁性層 40 が異なる結晶配向性を有するように分離する。

【0034】

結晶構造分離層 50 が磁氣的結合を誘導する原理は次のとおりである。結晶構造分離層 50 内の自由電子が量子井戸に閉じ込められた正弦波のように存在し、この自由電子が第 2 磁性層 30 と第 3 磁性層 40 間の相互交換作用を媒介することにより、結晶構造分離層 50 を介して磁氣的結合が誘導される。

【0035】

また、第 2 磁性層 30 と第 3 磁性層 40 が異なる結晶配向性を有するように分離することが重要な理由は次のとおりである。

【0036】

例えば、トンネル障壁として MgO を使用する磁気トンネル接合が高い磁気抵抗比を示す理由は、MgO (002) の結晶配向性と、これに隣接する第 1 及び第 2 磁性層の結晶配向性が一致して、特定の対称性 (Δ_1 対称性) を有する波動関数のみ MgO 障壁を選択的に通過するからである。従って、高い磁気抵抗比を得るためには、磁性層が特定の結晶配向性を有することが要求される。MgO 薄膜と組み合わせられてコヒーレントトンネルに適した磁性体の結晶構造は、体心立方 (BCC) 格子構造である。通常、BCC 結晶構造を有する磁性層を得る方法は、大きく 2 つに分けられる。一つは、BCC 結晶構造を有する磁性層を MBE (Molecular Beam Epitaxy) などの方法を用いてエピタキシャル成長させる方法である。もう一つは、CoFeB のように非晶質構造を有する磁性層を MgO 障壁の両端に形成し、熱処理により CoFeB 層の B 含量を減少させて非晶質構造から結晶構造に転移させるようにして、MgO の結晶構造とコヒーレントな BCC 構造を形成する方法である。

【0037】

一方、高い垂直磁気異方性を有するためにも、特定の結晶構造が必要である。[Co/Ni]_n、[Co/Pt]_n、[Co/Pd]_n、[Ni/Pt]_n、又は [CoCr/Pt]_n 系などの多層薄膜を利用したほとんどの垂直磁気異方性物質は、面心立方 (FCC) 格子構造又は稠密六方 (HCP) 格子構造からなる。垂直磁気異方性物質が磁性層に隣接する場合、熱処理過程で FCC 又は HCP の結晶構造が磁性層に拡張して、磁性層が本来保有していた体心立方 (BCC) 格子結晶構造を破壊する。

【0038】

結晶構造分離層 50 を導入せず、第 2 磁性層 30 に垂直磁気異方性の大きい第 3 磁性層 40 を直接隣接させた場合に、外部印加磁場を変化させて磁気抵抗比を測定した結果を図 8 に示す。熱処理過程で第 3 磁性層 40 の結晶構造が第 2 磁性層 30 の結晶構造に拡張して体心立方 (BCC) 格子構造が破壊されて、磁気抵抗比が 1 % 未満と非常に小さくなったことが分かる。これから、垂直磁気異方性物質の結晶配向性が第 2 磁性層に拡張した場合、MgO をベースとする磁気トンネル接合の特性を著しく劣化させることが明らかである。

【0039】

結晶構造分離層 50 を導入した場合 (図 6 の実施形態) の磁気抵抗比測定結果を図 9 に示す。結晶構造分離層 50 を導入しない場合とは異なり、磁気トンネル接合が 80 % 以上と良好な磁気抵抗比を示すことが分かる。この結果から、垂直磁気異方性物質を使用する場合に高い磁気抵抗比を得るためには、結晶構造分離層 50 の導入が必要であることが分かる。

【0040】

結晶構造分離層 50 は非晶質構造を有することが好ましい。具体的には、融点が高く、薄膜製造のための後熱処理工程 (例えば、200 ~ 600 °C の温度) で結晶化することなく非晶質構造を維持する物質が好ましい。例えば、結晶構造分離層 50 の構成物質としては、Ru、Ta、Re、Rh などからなる群から少なくとも 1 つを選択する。

【0041】

このようにして得られる磁気トンネル接合構造は、電流が印加されない安定した状態での第2磁性層30の磁化方向（すなわち、磁気モーメントの方向）が第2磁性層30と第3磁性層40間の磁性結合により水平方向に対して $\pm 30^\circ$ 以内の傾斜を有するので、電流の印加により磁化を反転させる過程で磁化面に対して垂直方向への磁気モーメントの回転を容易にすることができる。従って、スイッチングに必要な臨界電流値を大幅に下げることができる。

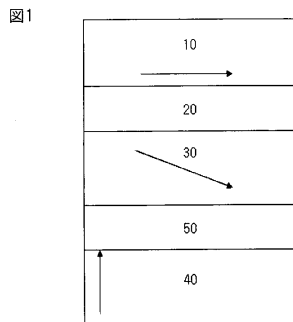
【0042】

一方、変形実施形態として、図5のように第3磁性層40を上部に形成した場合（基板が下部にある場合を基準とする。）の磁気抵抗比測定結果を図10及び図11に示す。図10を参照すると、第3磁性層40として垂直磁気異方性が非常に大きい物質を使用した場合、第2磁性層30の磁化方向が垂直磁気異方性の影響を大きく受けて、磁気抵抗曲線が変形することが分かる。また、図11を参照すると、第3磁性層40として垂直磁気異方性が比較的小さい物質を使用した場合、第2磁性層30の磁化方向が垂直磁気異方性の影響をあまり受けず、磁気抵抗曲線が一般的な様相を示すことが分かる。

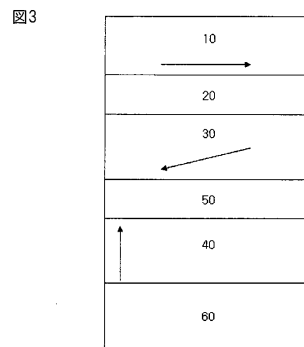
【0043】

本発明は、図示された例を中心に説明されたが、これは例示にすぎず、当該技術分野における通常の知識を有する者であれば様々な変形及び均等な他の実施形態が可能であることを理解できるであろう。

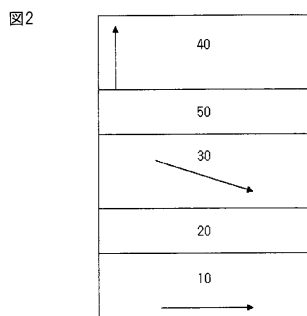
【図1】



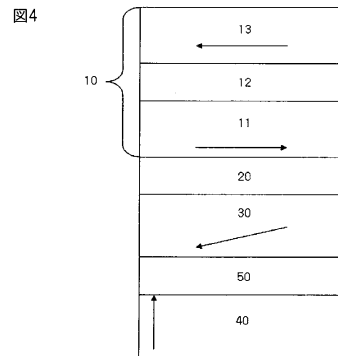
【図3】



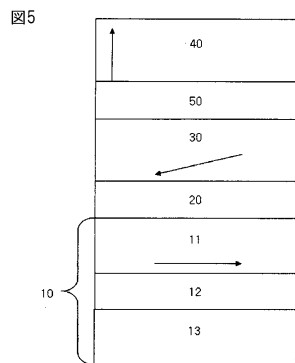
【図2】



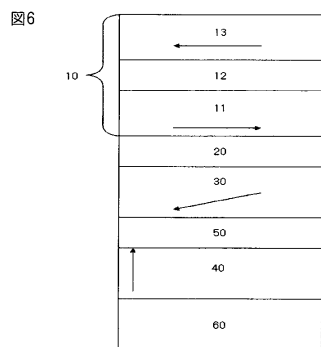
【図4】



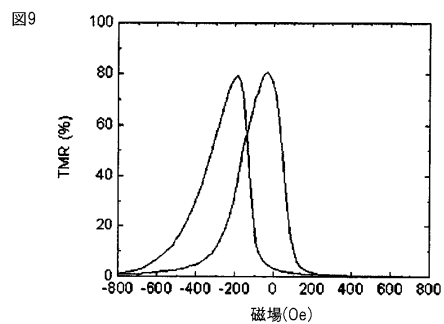
【図 5】



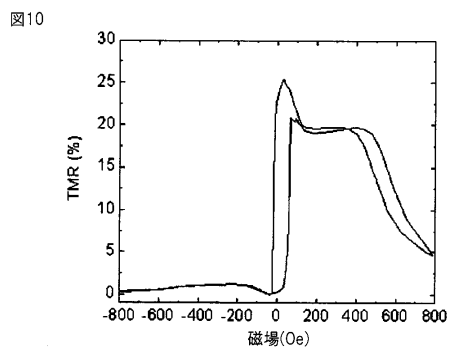
【図 6】



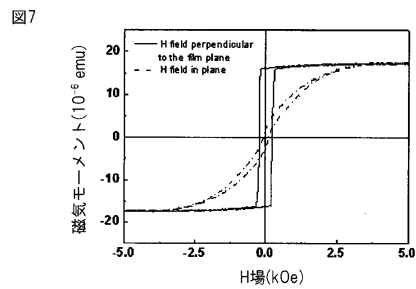
【図 9】



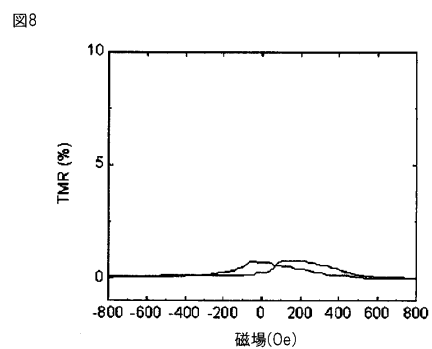
【図 10】



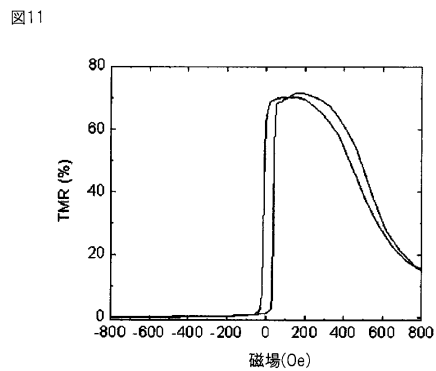
【図 7】



【図 8】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 シン キュン ホ

大韓民国, ソウル, ソンブクグ, キルム 3ードン, ドンブ センタービル アパートメント
103-2104

(72)発明者 ミン ビョン チュル

大韓民国, キョンギード, クワンミョン, チョルサンードン, 449, チュゴン アパートメント
1201-504

審査官 橘 均憲

(56)参考文献 特開2002-261352 (JP, A)

特表2008-524830 (JP, A)

特開2009-21352 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 43/08

H01L 21/8246

H01L 27/105

H01L 29/82

H01L 43/10