

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5373733号  
(P5373733)

(45) 発行日 平成25年12月18日 (2013.12.18)

(24) 登録日 平成25年9月27日 (2013.9.27)

|                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| (51) Int.Cl.             | F I                |
| HO 1 L 21/8246 (2006.01) | HO 1 L 27/10 4 4 7 |
| HO 1 L 27/105 (2006.01)  | HO 1 L 43/08 Z     |
| HO 1 L 43/08 (2006.01)   | HO 1 L 43/08 M     |
| HO 1 L 43/10 (2006.01)   | HO 1 L 29/82 Z     |
| HO 1 L 29/82 (2006.01)   |                    |

請求項の数 14 (全 12 頁)

|              |                              |           |                       |
|--------------|------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2010-232405 (P2010-232405) | (73) 特許権者 | 304039548             |
| (22) 出願日     | 平成22年10月15日 (2010.10.15)     |           | コリア・インスティテュート・オブ・サイ   |
| (65) 公開番号    | 特開2011-86944 (P2011-86944A)  |           | エンス・アンド・テクノロジー        |
| (43) 公開日     | 平成23年4月28日 (2011.4.28)       |           | 大韓民国, ソウル 136-791, ソン |
| 審査請求日        | 平成22年10月15日 (2010.10.15)     |           | ブックーク, ファランノ 14-ギル 5  |
| (31) 優先権主張番号 | 10-2009-0099432              | (74) 代理人  | 100099759             |
| (32) 優先日     | 平成21年10月19日 (2009.10.19)     |           | 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  | 100108383             |
|              |                              |           | 弁理士 下道 晶久             |
|              |                              | (74) 代理人  | 100141162             |
|              |                              |           | 弁理士 森 啓               |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直磁化磁性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（トンネル障壁層）と、  
 前記第 1 磁性層との磁性結合により前記第 1 磁性層の磁化方向が薄膜面に対して垂直となるようにし、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 1 磁性層と前記第 3 磁性層との間に形成され、前記第 1 磁性層の結晶配向性と前記第 3 磁性層の結晶配向性を分離する第 1 結晶構造分離層と、

前記第 2 磁性層との磁性結合により前記第 2 磁性層の磁化方向が薄膜面に対して垂直となるようにし、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 4 磁性層と、

前記第 2 磁性層と前記第 4 磁性層との間に形成され、前記第 2 磁性層の結晶配向性と前記第 4 磁性層の結晶配向性を分離する第 2 結晶構造分離層と  
 を含み、

前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層の少なくとも一方の磁性層は、体心立方格子構造を有し、前記第 3 磁性層と前記第 4 磁性層の少なくとも一方の磁性層は、面心立方格子構造、面心正方格子構造、又は稠密六方格子構造を有し、

前記第 1 結晶構造分離層と前記第 2 結晶構造分離層の少なくとも一方の結晶構造分離層

10

20

は、200～600 の温度で熱処理しても非晶質構造が維持される物質を含み、

前記第1結晶構造分離層と前記第2結晶構造分離層の少なくとも一方の結晶構造分離層は、Ru、Ta、Re、Hf、W、Os、Ir、及びRhからなる群から独立して選択された少なくとも1つを含み、

前記第3磁性層の下に形成される下地層をさらに含み、

前記下地層は、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つを含むことを特徴とする磁気トンネル接合構造。

【請求項2】

前記非磁性層は、絶縁体又は半導体を含み、前記絶縁体は、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $HfO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $Y_2O_3$ 、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。

10

【請求項3】

前記第1磁性層は、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4】

前記第1磁性層と前記第2磁性層の少なくとも一方の磁性層は、 $FeX$ 、 $CoX$ 、 $NiX$ 、 $FeCoX$ 、 $CoNiX$ 、又は $NiFeX$ （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5】

20

前記第3磁性層及び前記第4磁性層の磁化容易軸は、それぞれ前記第1磁性層及び前記第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6】

前記第3磁性層及び前記第4磁性層の磁化方向がそれぞれ前記第3磁性層及び前記第4磁性層の平面に対して傾斜した角度は、 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 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7】

前記第3磁性層と前記第4磁性層の少なくとも一方の磁性層は、面心正方構造を有する合金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。

30

【請求項8】

前記面心正方構造を有する合金は、 $FePt$ 、 $CoPt$ 、 $FePd$ 、及び $MnAl$ 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7に記載の磁気トンネル接合構造。

【請求項9】

前記第3磁性層と前記第4磁性層の少なくとも一方の磁性層は、稠密六方構造を有する合金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】

前記稠密六方構造を有する合金は、 $Co_3Pt$ 合金又は $CoCrPt$ 合金であることを特徴とする請求項9に記載の磁気トンネル接合構造。

40

【請求項11】

前記第3磁性層と前記第4磁性層の少なくとも一方の磁性層は、希土類遷移金属合金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12】

前記希土類遷移金属合金は、 $Fe_{14}Nd_2B$ 又は $SmCo_5$ である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。

【請求項13】

前記第3磁性層と前記第4磁性層の少なくとも一方の磁性層は、多層薄膜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14】

50

前記多層薄膜は、 $[Co/Pt]_n$ 、 $[CoX合金/Pt]_n$ 、 $[Co/Pd]_n$ 、 $[CoX合金/Pd]_n$ 、 $[Co/Ni]_n$ 、 $[CoX合金/Ni]_n$ 、又は $[Ni/Pt]_n$ であり、前記 $n$ は、1から10の数字であり、前記 $X$ は、Fe、Ni、Cr、Ru、Re、Rh、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13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、垂直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。

10

【背景技術】

【0002】

実用化が進められて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、いわゆるスピンプル構造が知られている。

【0003】

20

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。

30

【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。

40

【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】

【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

50

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。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。

【0009】

また、素子のサイズが小さくなるにつれて、熱的揺動により磁化方向を変えることが可能になり、記録された情報を失う恐れがある。これを防止するためには、磁気異方性エネルギー ( $KV$ 、ここで  $K$  は異方性エネルギー密度、 $V$  は素子の体積) を熱エネルギー ( $k_B T$ 、ここで  $k_B$  はボルツマン定数、 $T$  は温度) より大きくする必要がある。

【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、再生信号値を増加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】

本発明のさらに他の目的は、数十ナノサイズで素子を製作しても熱的揺動により記録された情報を失うことのない構造を提供することにある。

【0013】

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】

【0014】

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(トンネル障壁層)と、前記第1磁性層との磁性結合により前記第1磁性層の磁化方向が薄膜面に対して垂直となるようにし、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1磁性層と前記第3磁性層との間に形成され、前記第1磁性層の結晶配向性と前記第3磁性層の結晶配向性を分離する第1結晶構造分離層と、前記第2磁性層との磁性結合により前記第2磁性層の磁化方向が薄膜面に対して垂直となるようにし、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4磁性層と、前記第2磁性層と前記第4磁性層との間に形成され、前記第2磁性層の結晶配向性と前記第4磁性層の結晶配向性を分離する第2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。

【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(トンネル障壁層)に隣接する第1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1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1磁性層の磁化方向を前記第1磁性層の平面に対して垂直方向に維持することにより、磁化反転に必要な臨界電流値を下げ、熱的安定性を向上させることができる。

【0016】

第二に、結晶構造分離層の導入により、第3磁性層又は第4磁性層の構成物質として面心立方(Face Centered Cubic; FCC)格子構造、稠密六方(Hexagonal Close-Packed; HCP)格子構造、又は面心正方(Face Centered Tetragonal; FCT)格子構造を有する垂直磁

10

20

30

40

50

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1磁性層及び第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を垂直にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明による磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図2】下地層（バッファ層）をさらに含む場合における磁気トンネル接合構造の断面概略図である。

【図3】合金と多層薄膜系を用いて実現した図2に示す構造における270°で熱処理した後の磁化 - 磁場曲線である。

10

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の様々な構成を説明する。

【0019】

本発明による磁気トンネル接合構造は、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（トンネル障壁層）と、前記第1磁性層との磁性結合により前記第1磁性層の磁化方向が薄膜面に対して垂直となるようにし、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1磁性層と前記第3磁性層との間に形成され、前記第1磁性層の結晶配向性と前記第3磁性層の結晶配向性を分離する第1結晶構造分離層と、前記第2磁性層との磁性結合により前記第2磁性層の磁化方向が薄膜面に対して垂直となるようにし、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4磁性層と、前記第2磁性層と前記第4磁性層との間に形成され、前記第2磁性層の結晶配向性と前記第4磁性層の結晶配向性を分離する第2結晶構造分離層とを含む。

20

【0020】

ここで、前記非磁性層は、絶縁体又は半導体を含むようにしてもよく、絶縁体としては、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $HfO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $Y_2O_3$ 、及び $Yb_2O_3$ からなる群から選択された少なくとも1つを使用する。

30

【0021】

前記第1磁性層は、磁性層 / 非磁性層 / 磁性層の積層構造を有するようにしてもよく、前記第1磁性層及び前記第2磁性層は、 $FeX$ 、 $CoX$ 、 $NiX$ 、 $FeCoX$ 、 $CoNiX$ 、又は $NiFeX$ （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）を含むようにしてもよい。

【0022】

また、その格子構造において、前記第1磁性層及び前記第2磁性層は、それぞれ体心立方（BCC）格子構造を有し、前記第3磁性層及び前記第4磁性層は、それぞれ面心立方（FCC）、面心正方（FCT）、又は稠密六方（HCP）格子構造を有するようにしてもよい。

40

【0023】

また、前記第3磁性層及び前記第4磁性層の磁化容易軸（magnetic easy axis）は、それぞれ前記第1磁性層及び前記第2磁性層の平面に対して垂直方向に配向されるようにし、前記第3磁性層及び前記第4磁性層の磁化方向がそれぞれ前記第3磁性層及び前記第4磁性層の平面に対して傾斜した角度は、 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$  にしてもよい。

【0024】

また、前記第3磁性層及び前記第4磁性層は、それぞれ $FePt$ 、 $CoPt$ 、 $FePd$ 、及び $MnAl$ からなる群から選択された少なくとも1つなどの面心正方構造を有する合金を含むようにしてもよく、 $Co_3Pt$ 合金又は $CoCrPt$ 合金などの稠密六方構造を有する合金を含むようにしてもよい。また、前記第3磁性層及び前記第4磁性層は、それ

50

ぞれ  $\text{Fe}_{14}\text{Nd}_2\text{B}$  又は  $\text{SmCo}_5$  などの希土類遷移金属合金を含むようにしてもよく、 $[\text{Co}/\text{Pt}]_n$ 、 $[\text{CoX合金}/\text{Pt}]_n$ 、 $[\text{Co}/\text{Pd}]_n$ 、 $[\text{CoX合金}/\text{Pd}]_n$ 、 $[\text{Co}/\text{Ni}]_n$ 、 $[\text{CoX合金}/\text{Ni}]_n$ 、又は  $[\text{Ni}/\text{Pt}]_n$  (ここで、 $n$  は 1 から 10 の数字、 $X$  は  $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Gd}$ 、及び  $\text{Tb}$  からなる群から選択された少なくとも 1 つ) の多層薄膜を含むようにしてもよい。

#### 【0025】

一方、前記第 1 結晶構造分離層及び前記第 2 結晶構造分離層は、非晶質構造を有し、200 ~ 600 の温度で熱処理しても非晶質構造が維持される物質を含むようにしてもよく、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Os}$ 、 $\text{Ir}$ 、及び  $\text{Rh}$  からなる群から選択された少なくとも 1 つを含むようにしてもよい。

10

#### 【0026】

一方、本発明による磁気トンネル接合構造は、前記第 3 磁性層の下に形成される、 $\text{Au}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Ta}$ 、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 つを含む下地層をさらに含んでもよい。

#### 【0027】

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。

#### 【0028】

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、第 2 磁性層 20、第 3 磁性層 30、第 4 磁性層 40、第 1 結晶構造分離層 50、第 2 結晶構造分離層 60、及び非磁性層 (トンネル障壁層) 70 を含む。

20

#### 【0029】

ここで、第 1 磁性層 10、第 1 結晶構造分離層 50、及び第 3 磁性層 30 は、固定磁性層又は固定磁化層ともいい、第 2 磁性層 20、第 2 結晶構造分離層 60、及び第 4 磁性層 40 は、自由磁性層又は自由磁化層ともいう。

#### 【0030】

第 1 磁性層の構成は次のとおりである。

#### 【0031】

第 1 磁性層 10 は、固定された磁化方向を有する固定磁性層であって、垂直磁気異方性を有し、非磁性層 70 により第 2 磁性層 20 と分離されている。第 1 磁性層 10 及び第 2 磁性層 20 の磁化方向は、物質自体の垂直磁気異方性又はそれぞれ第 3 磁性層 30 もしくは第 4 磁性層 40 により誘導された垂直磁気異方性により、第 1 磁性層 10 もしくは第 2 磁性層 20 の平面 (すなわち、水平方向又は第 1 磁性層 10 もしくは第 2 磁性層 20 の薄膜面) とほぼ垂直である。第 1 磁性層 10 及び第 2 磁性層 20 は、 $\text{FeX}$ 、 $\text{CoX}$ 、 $\text{NiX}$ 、 $\text{FeCoX}$ 、 $\text{CoNiX}$ 、又は  $\text{NiFeX}$  (ここで、 $X$  は  $\text{B}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Gd}$ 、及び  $\text{Tb}$  からなる群から選択された少なくとも 1 つ) を含むようにしてもよい。

30

#### 【0032】

非磁性層 (トンネル障壁層) の構成は次のとおりである。

#### 【0033】

非磁性層 (トンネル障壁層) 70 は、第 1 磁性層 10 と第 2 磁性層 20 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 70 は、絶縁体又は半導体からなり、絶縁体としては  $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、及び / 又は  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  などが使用されるようにしてもよい。例えば、非磁性層 70 として  $\text{MgO}$  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 70 の厚さは、0.7 ~ 2 nm であることが好ましい。非磁性層 70 の厚さが 0.7 nm より薄いと、スピ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 70 の厚さが 2 nm より厚いと、抵抗面積積 (RA product) 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。

40

#### 【0034】

固定磁性層 (固定磁化層) の構成は次のとおりである。

50

## 【0035】

第1磁性層10は、固定された磁化方向を有する固定磁性層であって、磁化方向が薄膜面に対して垂直である。第3磁性層30がない場合、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の平面とほぼ平行になる。しかしながら、本発明においては、第1磁性層10の磁化方向が水平方向（すなわち、第1磁性層10の平面又は薄膜面）とほぼ直角をなすが、その理由は、第1磁性層10と垂直磁気異方性の大きい第3磁性層30とが第1結晶構造分離層50を介して磁性結合されているからである。第3磁性層30の磁化方向が第3磁性層30の平面に対して傾斜した角度 $\theta$ は、 $60^\circ < \theta < 120^\circ$ であることが好ましい。第1磁性層10は、FeX、CoX、NiX、FeCoX、CoNiX、又はNiFeX（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）を含むようにしてもよい。第1磁性層10の厚さは、1～5nmであることが好ましい。第1磁性層10が薄すぎると、十分なスピン分極が得られず、第1磁性層10が厚すぎると、電流による磁化反転効果が減少する。

10

## 【0036】

第1磁性層10は、第1結晶構造分離層50に隣接するように形成され、第3磁性層30との磁性結合により、第1磁性層10の磁化方向は第1磁性層10の平面に対して垂直となる。第3磁性層30は、垂直磁気異方性エネルギー（すなわち、第3磁性層30の平面に対して垂直方向の磁気異方性エネルギー、 $K_u$ ）が薄膜による形状磁気異方性エネルギー（すなわち、水平磁気異方性エネルギー、 $2\pi M_s^2$ ）より大きい。第3磁性層30の垂直磁気異方性エネルギーが非常に大きく、磁化容易軸が水平方向（すなわち、第1磁性層10の平面又は第3磁性層30の平面）に対して垂直方向に配向されることが好ましい。

20

## 【0037】

第3磁性層30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30の構成物質として、FePt、CoPt、FePd、又はMnAl合金などの面心正方（FCT）構造を有する合金を使用してもよく、Co<sub>3</sub>Pt合金又はCoCrPt合金などの稠密六方（HCP）構造を有する合金を使用してもよく、Fe<sub>14</sub>Nd<sub>2</sub>B又はSmCo<sub>5</sub>などの希土類遷移金属合金を使用してもよい。又は、第3磁性層30の構成物質として、[Co/Pt]<sub>n</sub>、[CoX合金/Pt]<sub>n</sub>、[Co/Pd]<sub>n</sub>、[CoX合金/Pd]<sub>n</sub>、[Co/Ni]<sub>n</sub>、[CoX合金/Ni]<sub>n</sub>、又は[Ni/Pt]<sub>n</sub>などの多層薄膜を使用してもよい。ここで、nは1から10の数字であり、XはFe、Ni、Cr、Ru、Re、Rh、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。また、Co/(Pt、Pd、Ni)又はCoX合金/(Pt、Pd、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。高い垂直磁気異方性を得るためには、Co層を薄くすることが好ましく、低い垂直磁気異方性を得るためには、Co層を厚くすることが好ましい。

30

## 【0038】

一方、第1結晶構造分離層50は、第1磁性層10と第3磁性層30との間に形成され、第1磁性層10と第3磁性層30間の磁気結合を誘導し、第1磁性層10の結晶配向性と第3磁性層30の結晶配向性を分離する。

40

## 【0039】

結晶構造分離層を介した磁気結合の誘導には次の2つの場合がある。

## 【0040】

第一に、結晶構造分離層が十分に薄く、結晶構造分離層の両端の磁性層が直接交換結合により磁気結合が行われる。

## 【0041】

第二に、結晶構造分離層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、この自由電子が両側の磁性層間の相互交換作用を媒介することにより、結晶構造分離層を介して磁気結合が誘導される。

50

## 【 0 0 4 2 】

また、第 1 磁性層 1 0 の結晶配向性と第 3 磁性層 3 0 の結晶配向性を分離することが重要な理由は次のとおりである。

## 【 0 0 4 3 】

例えば、トンネル障壁として M g O 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、M g O ( 0 0 2 ) 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とが一致して、特定の対称性 (  $\Delta_1$  対称性 ) を有する波動関数のみ M g O 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。M g O 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 ( B C C ) 格子構造である。通常、体心立方格子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、体心立方格子結晶構造を有する磁性層を M B E ( 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、C o F e B のように非晶質構造を有する磁性層を M g O 障壁の両端に形成し、熱処理により C o F e B 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、M g O の結晶構造とコヒーレントな体心立方格子結晶構造を形成する方法である。

10

## 【 0 0 4 4 】

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。ほとんどの垂直磁気異方性物質は、面心立方 ( F C C ) 格子構造、面心正方 ( F C T ) 格子構造、又は稠密六方 ( H C P ) 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 F C C 、 F C T 、又は H C P の結晶構造が磁性層に拡張して、第 1 磁性層が本来保有していた体心立方 ( B C C ) 格子結晶構造を破壊する。この場合、第 1 磁性層 1 0 / 非磁性層 7 0 / 第 2 磁性層 2 0 の構造、例えば C o F e B / M g O / C o F e B の 3 層膜構造では結晶整合性が維持されず、高い磁気抵抗比が得られない。しかし、結晶構造分離層を導入すると、熱処理中に垂直異方性物質の結晶方向性が第 1 磁性層に拡張することを防止することにより、結晶整合性を維持することができる。

20

## 【 0 0 4 5 】

第 1 結晶構造分離層 5 0 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、2 0 0 ~ 6 0 0 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、第 1 結晶構造分離層 5 0 の構成物質としては、R u 、 T a 、 R e 、 H f 、 W 、 O s 、 I r 、又は R h からなる群から少なくとも 1 つを選択する。

30

## 【 0 0 4 6 】

場合によっては、第 3 磁性層 3 0 の垂直方向への磁化を容易にするために、図 2 に示すように、第 3 磁性層 3 0 の下に下地層 ( パッファ層 ) 8 0 を形成してもよい。下地層 8 0 は、A u 、 R u 、 T a 、 C u 、 C u N 、 P d 、 P t 、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。

## 【 0 0 4 7 】

自由磁性層 ( 自由磁化層 ) の構成は次のとおりである。

## 【 0 0 4 8 】

第 2 磁性層 2 0 は、第 2 結晶構造分離層 6 0 に隣接するように形成され、第 4 磁性層 4 0 との磁性結合により、第 2 磁性層 2 0 の磁化方向は第 2 磁性層 2 0 の平面に対して垂直となる。第 4 磁性層 4 0 は、垂直磁気異方性エネルギー ( すなわち、第 4 磁性層 4 0 の平面に対して垂直方向の磁気異方性エネルギー、 $K_u$  ) が薄膜による形状磁気異方性エネルギー ( すなわち、水平磁気異方性エネルギー、 $2 \pi M_s^2$  ) より大きい。第 4 磁性層 4 0 の垂直磁気異方性エネルギーが非常に大きく、磁化容易軸が水平方向 ( すなわち、第 1 磁性層 1 0 の平面又は第 3 磁性層 3 0 の平面 ) に対して垂直方向に配向されることが好ましい。

40

## 【 0 0 4 9 】

第 4 磁性層 4 0 が垂直磁気異方性を有するようにするために、第 4 磁性層 4 0 の構成物

50

質として、FePt、CoPt、FePd、又はMnAl合金などの面心正方（FCT）構造を有する合金を使用してもよく、Co<sub>3</sub>Pt合金又はCoCrPt合金などの稠密六方（HCP）構造を有する合金を使用してもよく、Fe<sub>14</sub>Nd<sub>2</sub>B又はSmCo<sub>5</sub>などの希土類遷移金属合金を使用してもよい。又は、第4磁性層40の構成物質として、[Co/Pt]<sub>n</sub>、[CoX合金/Pt]<sub>n</sub>、[Co/Pd]<sub>n</sub>、[CoX合金/Pd]<sub>n</sub>、[Co/Ni]<sub>n</sub>、[CoX合金/Ni]<sub>n</sub>、又は[Ni/Pt]<sub>n</sub>などの多層薄膜を使用してもよい。ここで、nは1から10の数字であり、XはFe、Ni、Cr、Ru、Re、Rh、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。また、Co/(Pt、Pd、Ni)又はCoX合金/(Pt、Pd、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。高い垂直磁気異方性を得るためには、Co層を薄くすることが好ましく、低い垂直磁気異方性を得るためには、Co層を厚くすることが好ましい。

10

#### 【0050】

一方、第2結晶構造分離層60は、第2磁性層20と第4磁性層40との間に形成され、第2磁性層20と第4磁性層40間の磁気結合を誘導し、第2磁性層20の結晶配向性と第4磁性層40の結晶配向性を分離する。

#### 【0051】

第2結晶構造分離層60が磁気結合を誘導する原理は、第1結晶構造分離層50が磁気結合を誘導する原理と同様である。

#### 【0052】

20

また、第2磁性層20の結晶配向性と第4磁性層40の結晶配向性を分離することが重要な理由も、第1磁性層10の結晶配向性と第3磁性層30の結晶配向性を分離することが重要な理由と同様である。

#### 【0053】

ただし、第2磁性層20、第4磁性層40、第2結晶構造分離層60から構成される自由磁性層の保磁力は、第1磁性層10、第3磁性層30、第1結晶構造分離層50から構成される固定磁性層の保磁力より小さいことが好ましい。

#### 【0054】

図2に示す構造を用いて垂直磁気異方性を実現した例を図3に示す。図3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（M-Hヒステリシスループ）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。外部磁場が4500eの地点で第2磁性層20、第4磁性層40、第2結晶構造分離層60から構成される自由磁性層の磁気モーメントが反転し、5700eの地点で第1磁性層10、第3磁性層30、第1結晶構造分離層50から構成される固定磁性層の磁気モーメントが反転することが分かる。これから、図3に示す薄膜構造は、自由磁性層の保磁力が固定磁性層の保磁力より小さいという特性を満たすことが分かる。

30

#### 【0055】

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、これにより本発明の権利範囲が限定されるものではない。また、本発明の属する技術分野における通常の知識を有する者であれば、本発明から様々な変形及び均等な他の実施例が可能であることを理解できるであろう。

40

#### 【符号の説明】

#### 【0056】

- 10 第1磁性層
- 20 第2磁性層
- 30 第3磁性層
- 40 第4磁性層
- 50 第1結晶構造分離層
- 60 第2結晶構造分離層

50

- 7 0 非磁性層（トンネル障壁層）
- 8 0 下地層（バッファ層）

【図 1】

図1

|    |
|----|
| 40 |
| 60 |
| 20 |
| 70 |
| 10 |
| 50 |
| 30 |

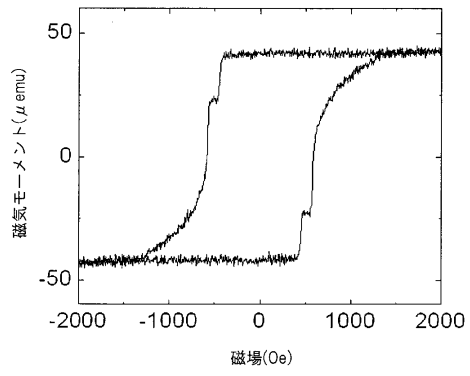
【図 2】

図2

|    |
|----|
| 40 |
| 60 |
| 20 |
| 70 |
| 10 |
| 50 |
| 30 |
| 80 |

## 【図3】

図3



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ミン ビョン チョル  
大韓民国, ソウル, ソンブク - ク, サンウォルゴク - ドン, ドン - エー エコビレ アパートメン  
ト 104 - 1002
- (72)発明者 チェ ギュン ミン  
大韓民国, ソウル, ソンブク - ク, ハウォルゴク - ドン, 39 - 1
- (72)発明者 シン キュン ホ  
大韓民国, ソウル, ソンブク - ク, キルム 3 - ドン, ドンブ セントレビレ アpartment  
103 - 2104

審査官 小田 浩

- (56)参考文献 特開2009 - 081216 (JP, A)  
特開2006 - 060236 (JP, A)  
特開平09 - 172212 (JP, A)  
特開2011 - 061204 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/8246  
H01L 27/105  
H01L 29/82  
H01L 43/08  
H01L 43/10