

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6440769号
(P6440769)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月30日(2018.11.30)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 F 41/18 (2006.01)	HO 1 F 41/18
HO 1 L 29/82 (2006.01)	HO 1 L 29/82 Z
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z
HO 1 L 43/10 (2006.01)	HO 1 L 43/08 M
HO 1 L 21/8239 (2006.01)	HO 1 L 27/105 4 4 7
請求項の数 23 (全 20 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2017-98812 (P2017-98812)	(73) 特許権者	510273880
(22) 出願日	平成29年5月18日(2017.5.18)		コリア ユニバーシティ リサーチ アン
(65) 公開番号	特開2018-98481 (P2018-98481A)		ド ビジネス ファウンデーション
(43) 公開日	平成30年6月21日(2018.6.21)		KOREA UNIVERSITY RE
審査請求日	平成29年5月18日(2017.5.18)		SEARCH AND BUSINESS
(31) 優先権主張番号	10-2016-0170108		FOUNDATION
(32) 優先日	平成28年12月14日(2016.12.14)		大韓民国、02841 ソウル、ソンプク
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		ーグ、アナムーロ 145
特許法第30条第2項適用 ▲1▼ 刊行物名 Act a Materialia, 第125巻, (2017年 2月), 第196~201頁 ▲2▼ 公開日 平成2 8年12月10日		(74) 代理人	100114775
			弁理士 高岡 亮一
		(74) 代理人	100121511
			弁理士 小田 直
		(74) 代理人	100202751
			弁理士 岩堀 明代
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 垂直磁気異方性を有する合金薄膜

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

真空チャンバ内で CoFeSiB ターゲットと Pd ターゲットを同時にスパッタして、
前記真空チャンバ内に配置された基板上に CoFeSiB - Pd 合金薄膜を形成する段階
と、

前記 CoFeSiB - Pd 合金薄膜を形成する前にバッファ層を形成する段階を含む、
前記バッファ層は、3 nm以上の厚さの Pdであることを特徴とする垂直磁気異方性を
有する CoFeSiB - Pd 合金薄膜の製造方法。

【請求項2】

前記バッファ層を形成する前にシード層を形成する段階と、
前記 CoFeSiB - Pd 合金薄膜を形成した後にキャッピング層を形成する段階と、
をさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気異方性を有する CoFeSiB
- Pd 合金薄膜の製造方法。

【請求項3】

前記 CoFeSiB - Pd 合金薄膜が形成された基板を熱処理する温度は、セ氏300
度超過600度未満であることを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気異方性を有する
CoFeSiB - Pd 合金薄膜の製造方法。

【請求項4】

前記 CoFeSiB - Pd 合金薄膜は、前記 CoFeSiB ターゲットと前記 Pd ター
ゲットを用いて DC スパッタ法によって形成されることを特徴とする請求項1に記載の垂

直磁気異方性を有するCoFeSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項5】

前記CoFeSiBターゲットの組成比は、 $\text{Co}_x\text{Fe}_y\text{Si}_{1.5}\text{B}_{1.0}$ (atomic%) であり、

$x = 70.5 \sim 75$ 、 $y = 4.5 \sim 0$ であることを特徴とする請求項4に記載の垂直磁気異方性を有するCoFeSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項6】

前記CoFeSiB-Pd合金薄膜は、アルゴン雰囲気下で1 mTorrないし10 mTorrの雰囲気下で蒸着されることを特徴とする請求項4に記載の垂直磁気異方性を有するCoFeSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

10

【請求項7】

CoFeSiBとPdの体積比は、1 : 1.6ないし1 : 7であることを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気異方性を有するCoFeSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項8】

前記垂直磁気異方性が発現された前記CoFeSiB-Pd合金薄膜の角形比は、90%以上であり、

前記CoFeSiB-Pd合金薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であり、

磁気異方性エネルギーは、 $1.53 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の垂直磁気異方性を有するCoFeSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

20

【請求項9】

真空チャンバ内でCoSiBターゲットとPdターゲットを同時にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上にCoSiB-Pd合金薄膜を形成する段階と、

前記CoSiB-Pd合金薄膜を形成する前にバッファ層を形成する段階を含む、

前記バッファ層は、3 nm以上の厚さのPdであることを特徴とする垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項10】

前記バッファ層を形成する前にシード層を形成する段階と、

前記CoSiB-Pd合金薄膜を形成した後にキャッピング層を形成する段階と、をさらに含むことを特徴とする請求項9に記載の垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

30

【請求項11】

前記CoSiB-Pd合金薄膜が形成された基板を熱処理する温度は、セ氏300度超過600度未満であることを特徴とする請求項9に記載の垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項12】

前記CoSiB-Pd合金薄膜は、前記CoSiBターゲットと前記Pdターゲットを用いてDCスパッタ法によって形成されることを特徴とする請求項9に記載の垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項13】

前記CoSiBターゲットの組成比は、 $\text{Co}_{7.5}\text{Si}_{1.5}\text{B}_{1.0}$ (atomic%) であることを特徴とする請求項12に記載の垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

40

【請求項14】

前記CoSiB-Pd合金薄膜は、アルゴン雰囲気下で1 mTorrないし10 mTorrの雰囲気下で蒸着されることを特徴とする請求項12に記載の垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

【請求項15】

CoSiBとPdの体積比は、1 : 1.6ないし1 : 7であることを特徴とする請求項9に記載の垂直磁気異方性を有するCoSiB-Pd合金薄膜の製造方法。

50

【請求項 16】

基板上に形成された CoFeSiB-Pd 合金薄膜において、
前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜の下部にバフファ層を含む、
前記バフファ層は、 3 nm 以上の厚さの Pd であると、前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜は、非晶質状態で同時蒸着され、前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜に垂直磁気異方性を発現させるために熱処理して多結晶構造に変更されることを特徴とする垂直磁気異方性を有する CoFeSiB-Pd 合金薄膜。

【請求項 17】

垂直磁気異方が発現された前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜の角形比は、 90% 以上であり、

前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であり

、
磁気異方性エネルギーは、 $1.53 \times 10^6\text{ erg/cm}^3$ 以上であることを特徴とする請求項 16 に記載の垂直磁気異方性を有する CoFeSiB-Pd 合金薄膜。

【請求項 18】

前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜の厚さは、 9.5 nm ないし 20 nm であり、
 CoFeSiB と Pd の体積比は、 $1:1.6$ ないし $1:7$ であることを特徴とする請求項 16 に記載の垂直磁気異方性を有する CoFeSiB-Pd 合金薄膜。

【請求項 19】

基板上に形成された CoSiB-Pd 合金薄膜において、
前記 CoSiB-Pd 合金薄膜の下部にバフファ層を含む、
前記バフファ層は、 3 nm 以上の厚さの Pd であると、
前記 CoSiB-Pd 合金薄膜は、非晶質状態で同時蒸着され、前記 CoSiB-Pd 合金薄膜に垂直磁気異方性を発現させるために熱処理して多結晶構造に変更されることを特徴とする垂直磁気異方性を有する CoSiB-Pd 合金薄膜。

【請求項 20】

前記垂直磁気異方性が発現された前記 CoSiB-Pd 合金薄膜の角形比は、 90% 以上であり、

前記 CoSiB-Pd 合金薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であることを特徴とする請求項 19 に記載の垂直磁気異方性を有する CoSiB-Pd 合金薄膜。

【請求項 21】

前記 CoSiB-Pd 合金薄膜の厚さは、 9.5 nm ないし 20 nm であり、
 CoSiB と Pd の体積比は、 $1:1.6$ ないし $1:7$ であることを特徴とする請求項 19 に記載の垂直磁気異方性を有する CoSiB-Pd 合金薄膜。

【請求項 22】

磁化方向がスイッチングされる自由層と磁化方向が固定された固定層との間に介在されたトンネル絶縁層を含む磁気トンネル接合において、

前記固定層は、

シード層と、

前記シード層上に形成されたバフファ層と、及び、

前記バフファ層上に形成された第 1 固定層と、を含み、

前記第 1 固定層は、 CoFeSiB-Pd 合金薄膜又は CoSiB-Pd 合金薄膜を含み、

前記バフファ層は、 3 nm 以上の厚さの Pd であると、

前記第 1 固定層の前記 CoFeSiB-Pd 合金薄膜又は前記 CoSiB-Pd 合金薄膜は、後続熱処理によって垂直磁気異方性を発現することを特徴とする磁気トンネル接合素子。

【請求項 23】

前記固定層は、前記第 1 固定層上に配置された非磁性金属層及び前記非磁性金属層上に配置された第 2 固定層をさらに含み、

前記第2固定層は、垂直磁気異方性を有するC o F e B 薄膜を含むことを特徴とする請求項22に記載の磁気トンネル接合素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁性合金薄膜に関するものとして、より詳細には、熱処理の後、垂直磁気異方性が発現され、セ氏500度程度の高温熱処理にも垂直磁気異方性を維持する合金薄膜と、これを用いた磁気メモリ素子に関する。

【背景技術】

【0002】

10

既存メモリを代替するための次世代メモリの中で、不揮発性メモリである磁気ランダムアクセスメモリ(magnetic random access memory、MRAM)は、速い駆動速度、低い駆動電圧、高い情報維持耐久性などの長所として注目されている。

【0003】

磁気メモリは、既存の揮発性素子であるDRAM(Dynamic Random Access Memory)の高集積度とSRAM(Static Random Access Memory)の高速度を具現することができるため、スマートフォン、コンピュータ及びネットワークに使用される既存のメモリの代替手段として目立たせている。また、低電力、不揮発性を要求するモノのインターネット(Internet of Things、IoT)用の電子製品に適用しようとする試みが進行中であり、自動車、ロボットなどに活用可能性が高い。

20

【0004】

磁気トンネル接合(magnetic tunnel junction、MTJ)は、MRAMの核心素子であり、高いトンネル磁気抵抗比(tunneling magnetoresistance ratio、TMR)、高い記録安定性、低い電流密度、高集積化を具現するために、磁気トンネル接合は必須的に垂直磁気異方性(perpendicular magnetic anisotropy、PMA)が具現されなければならない。

【0005】

30

磁気トンネル接合は、基本的に強磁性体/酸化物/強磁性体の三重層構造からなり、それぞれ磁化固定層(pinned layer、PL)、トンネルバリア(tunnel barrier、TB)、及び磁化自由層(free layer、FL)を含み、自由層と固定層の位置は、互いに変えることができる。トンネルバリアを介して隣り合う自由層と固定層のスピンの方向が平行(parallel)又は反平行(antiparallel)に配列された状態によって、トンネルバリアを通過するトンネリング電流の値が変わる性質を用い、この時の抵抗の差をトンネル磁気抵抗比(TMR)という。固定層のスピンの方向は固定され、自由層のスピンの方向を磁場又は電流を流して操作することによって情報を入力する。

【0006】

40

ここで磁気トンネル接合は、トンネリング障壁(tunneling barrier)として絶縁層(一般的にMgO)を介する二つの強磁性層(ferrromagnetic layer)のサンドイッチ状となっていて、電流が各層に垂直に流れる現象を示す。ここで、二つの強磁性層は、基準層として作用する固定層(pinned layer)と格納又は感知の機能をする自由層(free layer)をいう。電流が流れるとき、二つの強磁性層の磁化方向が同じであれば(parallel)、抵抗が小さく、電流のトンネリング確率が大きくなる。一方、二つの強磁性層のスピンの方向が正反対であれば(antiparallel)、抵抗が大きくなり、電流のトンネリング確率が小さくなる。磁気メモリの超高集積化のためには、サブマイクロメートル単位のメモリセルを形成する必要がある。このように磁気メモリの高集積化のために、磁気トンネル接合の大きさを

50

減少させると同時に、セルのアスペクト比 (aspect ratio) を小さくする場合には、磁気トンネル接合の磁性体内部で強い反磁場 (demagnetization field) による多磁区 (multi-domain) 又はボルテックス (vortex) が形成され、これによって不安定なセルスイッチング現象が現れ、記録マージンが減ることになる。

【0007】

高アスペクト比でセルを制作すると、このような多磁区構造は、形状磁気異方性によって発生しないが、高集積化を達成することができなく、大きなスイッチング磁場を要することになって、結果的に高集積化を達成することができない。

【0008】

このような理由で開発されたものが垂直磁気異方性 (perpendicular magnetic anisotropy、PMA) を有する磁気トンネル接合である (Naoki Nishimura et al., J. Appl. Phys., vol. 91, p. 5246 (2002))。Nishimuraグループは、垂直磁気異方性物質としてよく知られた TbFeCo、GdFeCo を自由層と固定層として使用して磁気トンネル接合をコントロールして磁気抵抗比 55 % を得た。また、MFM (magnetic force microscope) を通じて、垂直磁気異方性磁気トンネル接合で磁化歪み現象がないということを確認した。しかし、この実験で使用された Tb、Gd などは、希土類金属で、地球上で存在量が少なく、実用化が不可能である。したがって、垂直磁気異方性磁気トンネル接合を実用化するためには、新たな垂直磁気異方性物質の開発が必要

【0009】

既存に研究された垂直磁気異方性薄膜は、高密度化において、限界に立ち向かう水平磁気記録媒体を代替するために開発された。垂直磁気異方性を見せる物質は CoCr 系合金膜、Co/Pt、Co/Pd 多層薄膜などで、この時要求される物理的性質は、記録磁区の安定性と信頼性のために垂直磁気異方性が高く、保磁力が高く、残留磁化 (remnant magnetization) 値が大きいものを要求する。

【0010】

しかし、磁気メモリは、速いスイッチングと低電力動作が求められ、これによって低い保磁力 (coercivity) と再生マージン (reading margin) の増進のための高い磁気異方性が要求される。また、残留磁化 (remnant magnetization) 値が飽和磁化 (saturation magnetization) 値と類似し、同時に低い値を維持することが電流消費を減らすために必要である。

【0011】

垂直磁気異方性を有する磁気トンネル接合を簡単に pMTJ (perpendicular magnetic tunnel junction) と称する。pMTJ の低い保磁力と高い磁気異方性を有する垂直磁気異方性薄膜が要求される。一方、pMTJ の固定層として使用するために、高い保磁力、高い熱安定性のために高い垂直磁気異方性薄膜を要求する。

【0012】

一般的に磁気トンネル接合は、スパッタリング (sputtering)、分子線エピタキシ (MBE: molecular beam epitaxy) などの蒸着方法を用いて製作する。しかし、垂直磁気異方性が示される材料は、限定されていて、蒸着された膜の微細構造及び界面変化に大きな影響を受ける。特に、半導体工程のうち、後工程 (back-end-of-line、BEOL) の際に必要な高い温度 (通常 400 以上) で垂直磁気異方性特性を維持することが重要な技術的問題である。

【0013】

多層薄膜は、垂直磁気異方性を有する範囲内で簡単に構造的な変化を起こす。これを通じて、磁気的特性にも変化を起こすという長所を有する。しかし、既存の多層薄膜の致命的な短所は、セ氏 250 度程度の後続熱処理の後、垂直磁気異方性が弱くなる問題がある

10

20

30

40

50

。現在、セ氏400度以上の熱処理温度でも強い垂直磁気異方性を維持する新しい自由層又は固定層用磁性材料が要求される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

本発明が解決しようとする課題は、高温熱処理後にも垂直磁気異方性を維持する磁気トンネル接合に必要な磁性層を提供することにある。

【0015】

本発明が解決しようとする課題は、既存に使用された多層薄膜磁性層をより簡単な方法である同時蒸着法(c o - d e p o s i t i o n)を合金薄膜蒸着に用いて工程過程を短縮することにある。

10

【0016】

本発明が解決しようとする課題は、上述した課題に制限されず、言及されていないまた他の課題は、以下の記載から当業者に明確に理解される。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するC o F e S i B - P d合金薄膜の製造方法は、真空チャンバ内でC o F e S i BターゲットとP dターゲットを同時にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上にC o F e S i B - P d合金薄膜を形成する段階と、前記C o F e S i B - P d合金薄膜が形成された基板を垂直磁気異方性を発現させるために熱処理する段階と、を含む。

20

【0018】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i B - P d合金薄膜を形成する前にバッファ層を形成する段階をさらに含む。

【0019】

本発明の一実施例において、前記バッファ層を形成する前にシード層を形成する段階と、前記C o F e S i B - P d合金薄膜を形成した後にキャッピング層を形成する段階と、をさらに含む。

【0020】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i B - P d合金薄膜が形成された基板を熱処理する温度は、セ氏300度超過600度未満である。

30

【0021】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i B - P d合金薄膜は、前記C o F e S i Bターゲットと前記P dターゲットを用いてDCスパッタ法によって形成される。

【0022】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i Bターゲットの組成比は、 $C o_x F e_y S i_{1.5} B_{1.0}$ (atomic%)であり、 $x = 70.5 \sim 75$ 、 $y = 4.5 \sim 0$ である。

【0023】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i B - P d合金薄膜は、アルゴン雰囲気下で1 m T o r r ないし10 m T o r r の雰囲気下で蒸着される。

40

【0024】

本発明の一実施例において、C o F e S i BとP dの体積比は、1 : 1.6 ないし1 : 7である。

【0025】

本発明の一実施例において、前記垂直磁気異方性が発現された前記C o F e S i B - P d合金薄膜の角形比は、90%以上であり、前記C o F e S i B - P d合金薄膜の飽和磁化は、 $200 \text{ emu} / \text{cm}^3$ 以上であり、磁気異方性エネルギーは、 $1.53 \times 10^6 \text{ erg} / \text{cm}^3$ 以上である。

【0026】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するC o S i B - P d合金薄膜の製造方法

50

は、真空チャンバ内でC o S i BターゲットとP dターゲットを同時にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上にC o S i B - P d合金薄膜を形成する段階と、前記C o S i B - P d合金薄膜が形成された基板を、垂直磁気異方性を発現させるために熱処理する段階と、を含む。

【0027】

本発明の一実施例において、前記C o S i B - P d合金薄膜を形成する前にバッファ層を形成する段階をさらに含む。

【0028】

本発明の一実施例において、前記バッファ層を形成する前にシード層を形成する段階と、前記C o S i B - P d合金薄膜を形成した後にキャッピング層を形成する段階と、をさらに含む。

10

【0029】

本発明の一実施例において、前記C o S i B - P d合金薄膜が形成された基板を熱処理する温度は、セ氏300度超過600度未満である。

【0030】

本発明の一実施例において、前記C o S i B - P d合金薄膜は、前記C o S i Bターゲットと前記P dターゲットを用いてDCスパッタ法によって形成される。

【0031】

本発明の一実施例において、前記C o S i Bターゲットの組成比は、C o ₇₅ S i ₁₅ B ₁₀ (a t o m i c %) である。

20

【0032】

本発明の一実施例において、前記C o S i B - P d合金薄膜は、アルゴン雰囲気下で1 m T o r r ないし10 m T o r r の雰囲気下で蒸着される。

【0033】

本発明の一実施例において、C o S i B とP d の体積比は、1 : 1.6 ないし1 : 7 である。

【0034】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するC o F e S i B - P d合金薄膜は、基板上に形成される。前記C o F e S i B - P d合金薄膜は、非晶質状態で同時蒸着され、前記C o F e S i B - P d合金薄膜に垂直磁気異方性を発現させるために熱処理して多結晶構造に変更される。

30

【0035】

本発明の一実施例において、垂直磁気異方が発現された前記C o F e S i B - P d合金薄膜の角形比は、90%以上であり、前記C o F e S i B - P d合金薄膜の飽和磁化は、200 e m u / c m ³ 以上であり、磁気異方性エネルギーは、 1.53×10^6 e r g / c m ³ 以上である。

【0036】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i B - P d合金薄膜の厚さは、9.5 n m ないし20 n m であり、C o F e S i B とP d の体積比は、1 : 1.6 ないし1 : 7 である。

40

【0037】

本発明の一実施例において、前記C o F e S i B - P d合金薄膜の下部にバッファ層をさらに含み、前記バッファ層は、3 n m 以上の厚さのP d である。

【0038】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するC o F e S i B - P d合金薄膜は、基板上に形成される。前記C o S i B - P d合金薄膜は、非晶質状態で同時蒸着され、前記C o S i B - P d合金薄膜に垂直磁気異方性を発現させるために熱処理して多結晶構造に変更される。

【0039】

本発明の一実施例において、前記垂直磁気異方性が発現された前記C o S i B - P d 合

50

金薄膜の角形比は、90%以上であり、前記CoSiB-Pd合金薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上である。

【0040】

本発明の一実施例において、前記CoSiB-Pd合金薄膜の厚さは、9.5 nmないし20 nmであり、CoSiBとPdの体積比は、1:1.6ないし1:7である。

【0041】

本発明の一実施例において、前記CoSiB-Pd合金薄膜の下部にバッファ層をさらに含み、前記バッファ層は、3 nm以上の厚さのPdである。

【0042】

本発明の一実施例による磁気トンネル接合は、磁化方向がスイッチングされる自由層と磁化方向が固定された固定層との間に介在されたトンネル絶縁層を含む。前記固定層は、シード層と、前記シード層上に形成されたバッファ層と、及び、前記バッファ層上に形成された第1固定層と、を含む。前記第1固定層は、CoFeSiB-Pd合金薄膜又はCoSiB-Pd合金薄膜を含み、前記第1固定層の前記CoFeSiB-Pd合金薄膜又は前記CoSiB-Pd合金薄膜は、後続熱処理によって垂直磁気異方性を発現する。

【0043】

本発明の一実施例において、前記固定層は、前記第1固定層上に配置された非磁性金属層及び前記非磁性金属層上に配置された第2固定層をさらに含む。前記第2固定層は、垂直磁気異方性を有するCoFeB薄膜を含む。

【発明の効果】

【0044】

本発明の一実施例による磁性層は、CoFeSiB-Pd合金薄膜を用いて容易に垂直磁気異方性を具現することができる。CoFeSiB-Pd合金薄膜は、熱処理後に垂直磁気異方性を発現し、高い角形比、高い垂直異方性エネルギー、熱処理温度に関わらず一定の飽和磁化を見せる。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明の一実施例による垂直磁気異方性合金薄膜を説明する断面である。

【図2】振動試験片磁力計(vibrating sample magnetometer、VSM)で測定した熱処理温度による磁気ヒステリシス(magnetic hysteresis)曲線である。

【図3】本発明の一実施例による合金薄膜の熱処理温度による磁気的特性を示す。

【図4】透過電子顕微鏡(transmission electron microscope、TEM)を用いて得た薄膜試験片の断面写真である。

【図5】二次イオン質量分析法(secondary ion mass spectroscopy、SIMS)を用いて測定した熱処理温度による深さ方向元素分析の結果である。

【図6】本発明の一実施例による合金薄膜のX線回折(X-ray diffraction)パターンである。

【図7】Pdバッファ層の厚さによる合金薄膜の磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図8】CoFeSiB-Pd合金薄膜の厚さによる磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図9A】本発明の他の実施例による垂直磁気異方性薄膜を説明する概念図である。

【図9B】図9Aの垂直磁気異方性薄膜の磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図10】本発明の一実施例による磁気メモリ素子を示す概念図である。

【図11】本発明の他の実施例による磁気メモリ素子を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0046】

磁気トンネル接合は、高いビット安定性(high bit stability)を有した低電流密度動作(low-current-density operation)を可能にする。したがって、垂直磁気異方性PMA(perpendicular m

10

20

30

40

50

agnetic anisotropy)を有した磁気トンネル接合MTJ(Magnetic tunnel junctions)は、不揮発性磁気ランダムアクセスメモリに使用される。

【0047】

pMTJ(PMAを基本とするMTJ素子)は、通常100%以上のTMR、60以上の記録安定性、そして、磁化反転に必要な低い臨界電流を要求する。

【0048】

また、磁気トンネル接合は、セ氏450度までの高い温度を含むBEOL(back-end-of-line)集積回路工程を耐えなければならない。したがって、高温露出で垂直磁気異方性の劣化(degradation)は問題点である。したがって、垂直磁気異方性をはじめ、希望する磁氣的性質を維持すると同時に、高温熱処理を耐えることができる物質の探索が重要である。

10

【0049】

通常、多層薄膜構造は、熱処理前に垂直磁気異方性を示すが、後工程耐熱性を確保するために、蒸着後熱処理を行った後にも垂直磁気異方性を維持し続けることが重要である。

【0050】

TbFeCo及びGdFeCoのような希土類遷移金属合金(rare-earth transition-metal alloys)を含む幾つかの強磁性物質システムは、垂直磁気異方性特性を示す。

【0051】

しかし、これらの合金を含む磁気トンネル接合は、セ氏200度以上の蒸着後熱処理(post-deposition annealing)の後に垂直磁気異方性を失う。

20

【0052】

他のシステムは、FePd又はFePtのようなL₁₀規則合金(L₁₀ ordered alloys)を含む。このような合金は、 $\sim 10^7$ erg/cm³の大きな一軸異方性定数K_u(uniaxial anisotropy constants)を提供する。しかし、このような規則合金は、薄膜蒸着中にセ氏500度超過の高温処理を要求するため、化学的規則(chemical ordering)を達成することが難しい。

30

【0053】

垂直磁気異方性を有する他のシステムは、Co/Pd、Co/Pt、CoFe/Pd、又はCoFe/Ptのように、よく知られたコバルトに基づいた多層薄膜がある。ここで、飽和磁化M_s(saturation magnetization)、そして一軸異方性定数K_uのような重要な磁気性質は、強磁性層及び非磁性層の厚さ、そして二重層(bilayer)の個数を変更して調節される。

【0054】

コバルトに基づいた多層薄膜を構成する固定層(pinned layers)の厚さは、5 nmないし20 nmの範囲にある。一方、二重層繰り返しの個数nは、5ないし10までに可変される。Co/Pd多層薄膜に対して、垂直磁気異方性の原因は、界面で低くなった対称性(lowered symmetry)に起因するか、又は強磁性層と非磁性層との間の応力界面合金化(stressed interfacial alloying)に起因する界面効果として知られている。

40

【0055】

追加的に、Co/Pd界面でCo-Pd、相互拡散(interdiffusion)又はPdの拡散に起因して、垂直磁気異方性はコバルトに基づいた多層薄膜でセ氏300度以上の熱処理を行う間に劣化されることが知られている。既存のMTJに使用した垂直磁気異方性材料は、蒸着された膜の微細構造及び界面変化に大きな影響を受けることが知られている。

【0056】

50

本発明において、我々は、C o F e S i B - P d合金薄膜(又は、C o S i B - P d合金薄膜)で垂直磁気異方性特性を調べた。C o F e S i B - P d合金薄膜(又は、C o S i B - P d合金薄膜)は、同時蒸着によって準備され、セ氏500度までの温度で熱処理した後も垂直磁気異方性を発現した。同時蒸着によって準備されたC o F e S i B - P d合金薄膜は(又は、C o S i B - P d合金薄膜)、多層薄膜を形成する時間を減少させて生産性を向上させる。

【0057】

本発明の一実施例によると、薄膜蒸着の際には垂直磁気異方性を発現しないが、蒸着後熱処理工程を通じて垂直磁気異方性を発現する新たな磁気薄膜を提案する。この磁気薄膜は、多層薄膜を形成するために、精密な薄膜の厚さ及び組成比を制御し、複雑な工程構造及び工程時間を要求する従来の多層薄膜構造に比べて、著しい経済的効果をもたらす。前記C o F e S i B - P d合金薄膜(又は、C o S i B - P d合金薄膜)が形成された基板を垂直磁気異方性を発現させるために、熱処理は独立的に行われるか、又は磁気トンネル接合に必要な他の薄膜を形成した後に伴う熱処理に代替されて、工程段階を減少させる。熱処理によって発現される合金薄膜は、磁気トンネル接合の固定層又は自由層として使用される。

【0058】

本発明の一実施例による合金薄膜は、高いトンネル磁気抵抗(TMR)値を誘発するC o F e B(自由層)/M g O(トンネル層)/C o F e B(固定層)構造の磁気トンネル接合に適用される。具体的に、P d/C o F e S i B - P d/W(又はT a)/C o F e B/M g O(トンネル層)/C o F e B/W(又はT a)/C o F e S i B - P dに適用される。これによって、高いTMR値を有すると同時に、セ氏400度水準の高い熱処理安定性が確保される。

【0059】

以下、本発明に添付の図面を参照して、本発明の実施例と結果などについて説明する。以下の実施例と結果は、本発明の開示が完全になるようにし、通常の知識を有した者に発明の範囲を完全に知らせるために提供される。また、図面において、構成要素は、説明の便宜のために、その大きさが誇張又は縮小される。

【0060】

図1は、本発明の一実施例による垂直磁気異方性合金薄膜を説明する断面である。

【0061】

図1に示すように、垂直磁気異方性合金薄膜110の製造方法は、真空チャンバ内でC o F e S i BターゲットとP dターゲットを同時にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板の上にC o F e S i B - P d合金薄膜116を形成する段階と、前記C o F e S i B - P d合金薄膜116が形成された基板102を垂直磁気異方性を発現させるために熱処理する段階と、を含む。

【0062】

基板102上に順次にシード層112、バッファ層114、C o F e S i B - P d合金薄膜116、及びキャッピング層118が積層される。前記シード層112は5 nmのT aであり、前記バッファ層114は10 nmのP dであり、前記C o F e S i B - P d合金薄膜116は19 nmのC o F e S i B - P d合金である。また、キャッピング層118は5 nmのT aである。

【0063】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性薄膜試験片は、次のように準備される。前記垂直磁気異方性薄膜110は、シリコン基板/シリコン酸化膜/T a 5/P d 10/[C o F e S i B 5 - P d 14]/T a 5(厚さ単位: nm)である。シリコン基板は単結晶であり、シリコン酸化膜は基板上に形成された300 nm厚さのシリコン酸化層であり、T aはシード層(seed layer)であり、P dはバッファ層である。他のT a層は、キャッピング層(capping layer)である。C o F e S i B - P d合金薄膜116は、同時蒸着法を用いた合金薄膜である。前記C o F e S i B - P

d合金薄膜116は、5nm厚さに対応するCoFeSiBと14nm厚さに対応するPdが同時蒸着して形成される。これによって、前記CoFeSiB-Pd合金薄膜116の総厚さは19nmである。

【0064】

本発明の一実施例によると、[CoFeSiB 5-Pd 14]合金薄膜は、直流(DC)マグネトロンスパッタ法によって形成される。マグネトロンスパッタリング装置は、 5×10^{-9} Torr未満の初期圧力(base pressure)を有する。薄膜の厚さは、蒸着時間とスパッタリングパワを通じて調節される。マグネトロンスパッタリング装置は、CoFeSiBターゲットとPdターゲットを備える。前記CoFeSiBターゲットに印加されるスパッタリングパワと、前記Pdターゲットに印加されるスパッタリングパワを調節して、[CoFeSiB 5-Pd 14]合金薄膜を同時に形成する。前記CoFeSiBターゲットの組成比は、 $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{4.5}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ である(数字は、atomic percent)。[CoFeSiB 5-Pd 14]合金薄膜は、蒸着の際に常温では垂直磁気異方性を示さない。

【0065】

例えば、薄膜蒸着のために、DCパワ密度(power density)は 2.5 W/cm^2 であり、純粋なアルゴン圧力が約2 mTorrで維持される。CoFeSiBとPdの蒸着速度は、それぞれ0.0298と0.127 nm/sである。ターゲットに印加されるパワを調節して、蒸着速度を制御する。薄膜の構造は、Si/SiO₂/Ta(seed layer)5/Pd(buffer layer)10/[CoFeSiB 5-Pd 14]/Ta(capping layer)5(単位: nm)である。前記シード層はTaであり、接着層(adhesion layer)として機能する。前記キャッピング層はTaであり、保護層として機能する。蒸着されたCoFeSiB-Pd合金薄膜116は、非晶質状態であり、垂直磁気異方性を示さない。蒸着したCoFeSiB-Pd合金薄膜116は、後続熱処理によって多結晶状態に変換されて垂直磁気異方性を発現する。

【0066】

[薄膜蒸着後の熱処理]

前記CoFeSiB-Pd合金薄膜116を形成した後、このシリコン基板102は、熱処理炉で熱処理された。試料は、薄膜蒸着後にセ氏300度、セ氏400度、そしてセ氏500度の温度で、それぞれ1時間熱処理された。熱処理の際、初期真空は 10^{-6} Torr帯域であり、6 kOeの外部磁場を印加し、1時間進めた。前記後続熱処理の後、前記[CoFeSiB 5-Pd 14]合金薄膜116は、垂直磁気異方性を発現した。

【0067】

図2は、振動試験片磁力計(vibrating sample magnetometer、VSM)で測定した熱処理温度による磁気ヒステリシス(magnetic hysteresis)曲線である。

【0068】

図2に示すように、第1試料は、Ta/Pd 10 nm/[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]/Ta構造である。第1試料は、本発明の一実施例による同時蒸着法を用いて形成され、第1試料のCoFeSiB-Pd合金薄膜は、常温で熱処理前には垂直磁気異方性を示さなかった。しかし、第1試料は、セ氏400度及びセ氏500度の熱処理が進められた後に垂直磁気異方性が強く示された。

【0069】

第1試料は、蒸着の際、低い保磁力を示し、セ氏300度1時間熱処理の際、約3 kOeの保磁力を見せ、セ氏500度1時間熱処理の際、約5 kOeの保磁力を見せる。

【0070】

図3は、本発明の一実施例による合金薄膜の熱処理温度による磁気的特性を示す。

【0071】

図3(a)に示すように、セ氏400度以上の熱処理を行う場合、角形比(squareness)が90%を超え、セ氏500度熱処理以降もこれを維持した。角形比(squareness)は、飽和磁化 M_s に対する残留磁化 M_r の比 M_r/M_s で与えられる。

【0072】

図3(b)に示すように、熱処理温度に関係なく、略300 emu/cm³の飽和磁化値を維持した。

【0073】

図3(c)に示すように、熱処理温度が増加するにつれて、有効一軸磁気異方性エネルギー $K_{u,eff}$ が増加し、セ氏500度熱処理後、 1.53×10^6 erg/cm³を示した。飽和磁化はシード層112、Pbバッファ層114、キャッピング層118を除いた合金薄膜116の体積を用いて計算された。

10

【0074】

図3(d)に示すように、保磁力 H_c は、セ氏400度熱処理の際、急激に増加し、セ氏500度熱処理後、4700 Oeを見せた。このような磁気的特性に基づいて、CoFeSiB-Pd合金薄膜116は、磁気トンネル接合の固定層として使用される。セ氏300度超過、セ氏600度未満の1時間以上の熱処理を行う場合、CoFeSiB-Pd合金薄膜116は、垂直磁気異方性特性を示す。3 kOe以上の高い保磁力と約300 emu/cm³の一定の飽和磁化、約 1.53×10^6 erg/cm³程度の高い磁気異方性エネルギーを見せる。保磁力の変化は、薄膜の微細構造が熱処理の進行の際に変化されたことに起因したと予測される。CoFeSiB-Pd合金薄膜116は、磁気トンネル接合の固定層として使用される。

20

【0075】

図4は、透過電子顕微鏡TEM(transmission electron microscope)を用いて得た薄膜試験片の断面写真である。

【0076】

図4(a)は熱処理前、図4(b)はセ氏500度熱処理後の写真である。これを通じて非晶質構造から熱処理後の多結晶構造に変わることを確認できる。熱処理前には、ばやけたリング状のFFT(Fast Fourier Transformed)回折パターンを通じて非晶質相であることを確認できる。セ氏500度熱処理の後、合金薄膜と

30

【0077】

図5は、二次イオン質量分析法(secondary ion mass spectroscopy, SIMS)を用いて測定した熱処理温度による深さ方向元素分析の結果である。

【0078】

図5に示すように、薄膜の元素別深さプロファイル(elemental depth profile)は、Cs⁺イオン(ions)を使用した二次イオン質量分析法によって測定された。

【0079】

40

熱処理前CoFeSiB-Pd合金薄膜とバッファ層が明確に区分され、熱処理が進むほどに、バッファ層のPd元素がCoFeSiB-Pd合金薄膜に拡散されることを確認できる。ほとんどのB元素は、セ氏300度の熱処理を行う場合、バッファ層に移動し、セ氏500度の熱処理でキャッピング層118とシード層112に移動する。

【0080】

図6は、本発明の一実施例による合金薄膜のX線回折(X-ray diffraction)パターンである。

【0081】

図6に示すように、熱処理後のCoPd系列の合金ないし金属間化合物が生成されたことを確認できる。バッファ層であるPd111層内にB(ボロン)が拡散されてPd格子

50

が膨張されることが分かる。熱処理前には、垂直磁気異方性が発現されないが、高温熱処理の後には、CoPd系合金ないし金属間化合物(intermetallic compound)が形成されて、垂直磁気異方性が維持されると判断される。熱処理前蒸着された状態で、 40.51° のピークは、面心立方晶(face-centered cubic、fcc)111-Pdに起因する。Pdピークは、同時-蒸着したCoFeSiB-Pd合金薄膜の格子変形に起因して、fcc111-Pd(JCPDS No.07-0645)に比べて若干高い角度を有する。セ氏300度熱処理の後、Pdのピークは2つに分かれる。バッファ層のピーク位置は、熱処理の間のB拡散に起因して低い角度で移動する。Pdマトリックスで格子間(interstitial)B原子と推定された組成(composition)は、5 at.%~6 at.%である。

10

【0082】

セ氏500度熱処理後のCoFeSiB-Pd合金薄膜のXRDのピーク位置は、 41.3° である。このピークは、111方向に整列された(oriented)CoPd(41.0°)、そしてCoPd₃(40.9°)のピークととても近い。

【0083】

合金薄膜の二つの主な構成要素であるCoとPdの組成は、それぞれ19と81 at.%である。たとえば、CoFeSiB-Pd合金は、純粋な異種Co-Pdシステムではないが、主な構成要素はCoとPdであり、他の構成要素の量は小さい。したがって、熱処理後形成された合金は、Pd-rich Co-Pd合金として扱われる。高温熱処理後に同時蒸着されたCoFeSiB-Pd合金薄膜の垂直磁気異方性の主な原因は、バルク効果(bulk effect)に起因すると推定される。

20

【0084】

図7は、Pdバッファ層の厚さによる合金薄膜の磁気ヒステリシス曲線を示す。

【0085】

図7に示すように、(a)はバッファ層の厚さが3 nmのPdであり、(b)はバッファ層がない場合である。垂直磁気異方性の特性で注目すべき変化は、バッファ層114が10 nmから5 nmに減少した場合にも観測されなかった。しかし、バッファ層114が3 nmに減少した場合、磁気特性が著しく変更された。第2試料は、Ta/Pd 3 nm/[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]/Ta構造である。第3試料は、Ta/Pd 0 nm/[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]/Ta構造である。

30

【0086】

前記第2試料は、熱処理の後、十分な保磁力を示さない。また、第3試料は、垂直磁気異方性を完全に失った。したがって、[CoFeSiB 5 nm-Pd 14 nm]合金薄膜が磁気トンネル接合の磁性層として使用するために、少なくとも3 nm以上のPdバッファ層を有する必要がある。

【0087】

図8は、CoFeSiB-Pd合金薄膜の厚さによる磁気ヒステリシス曲線を示す。

【0088】

図8に示すように、(a)は、Ta/Pd 10/[CoFeSiB 2.5-Pd 7]/Ta構造の磁気ヒステリシス曲線であり、(b)は、Ta/Pd 10/[CoFeSiB 1.5-Pd 4.2]/Ta構造の磁気ヒステリシス曲線である。(a)の場合、CoFeSiB-Pd合金薄膜は、2.5 nm厚さに対応するCoFeSiBと7 nm厚さに対応するPdを同時蒸着法によって形成されて、総9.5 nmの厚さを有する。この場合、セ氏400度熱処理後に、垂直磁気異方性を示す。しかし、熱処理温度による飽和磁化値が変動されて、良好な磁気特性を示さない。

40

【0089】

(b)の場合、CoFeSiB-Pd合金薄膜は、1.5 nm厚さに対応するCoFeSiBと4.2 nm厚さに対応するPdを同時蒸着法によって形成されて、総6.7 nmの厚さを有する。しかし、熱処理温度による飽和磁化値が変更されて、良好な磁気特性を

50

示さない。

【0090】

したがって、前記CoFeSiB-Pd合金薄膜116の厚さは、安定的な磁気特性のために、9.5 nmないし20 nmであることが好ましい。前記CoFeSiB-Pd合金薄膜の厚さが薄すぎると、磁気特性を失う。前記CoFeSiB-Pd合金薄膜の厚さが厚すぎると、保磁力及び飽和磁化が非常に増加される。

【0091】

また、Pdの割合がCoFeSiBに対比して増加すると、飽和磁化が減少し、保磁力が減少する。CoFeSiBとPd蒸着率は、1:1.6ないし1:7である。適切な保磁力、飽和磁化、角形比、又は垂直磁気異方性エネルギーを達成するために、合金薄膜の厚さ及びCoFeSiBとPdの組成比が選択される。

10

【0092】

図9Aは、本発明の他の実施例による垂直磁気異方性薄膜を説明する概念図である。

【0093】

図9Bは、図9Aの垂直磁気異方性薄膜の磁気ヒステリシス曲線を示す。

【0094】

図9A及び図9Bに示すように、垂直磁気異方性薄膜110aは、基板102上に順次にシード層112、バッファ層114、CoSiB-Pd合金薄膜116a、及びキャッピング層118を含む。前記シード層112は5 nmのTaであり、前記バッファ層114は10 nmのPdであり、前記CoSiB-Pd合金薄膜116aは19 nmのCoSiB-Pd合金である。また、キャッピング層118は、5 nmのTaである。

20

【0095】

垂直磁気異方性合金薄膜の製造方法は、真空チャンバ内でCoSiBターゲットとPdターゲットを同時にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板102上にCoSiB-Pd合金薄膜を形成する段階と、前記CoSiB-Pd合金薄膜116aが形成された基板102を垂直磁気異方性を発現させるために、熱処理する段階と、を含む。前記CoSiB-Pd合金薄膜116aを形成する前にバッファ層114が形成される。前記バッファ層114を形成する前にシード層112を形成する段階、及び前記CoSiB-Pd合金薄膜116aを形成した後にキャッピング層118を形成する。前記CoSiB-Pd合金薄膜が形成された基板を熱処理する温度は、セ氏300度超過600度未満である。前記CoSiB-Pd合金薄膜114aは、前記CoSiBターゲットと前記Pdターゲットを用いてDCスパッタ法によって形成される。前記CoSiBターゲットの組成比は、Co₇₅Si₁₅B₁₀(atomic%)である。前記CoSiB-Pd合金薄膜116aは、アルゴン雰囲気下で1 mTorrないし10 mTorrの雰囲気下で蒸着される。CoSiBとPdの体積比は1:1.6ないし1:7である。

30

【0096】

図10は、本発明の一実施例による磁気メモリ素子を示す概念図である。

【0097】

図10に示すように、磁気メモリ素子200は、選択トランジスタ104と磁気トンネル接合201を含む。前記磁気トンネル接合201は、磁化方向がスイッチングされる自由層230と磁化方向が固定された固定層210との間に介在されたトンネル絶縁層220を含む。前記固定層210は、シード層212と、前記シード層上に形成されたバッファ層214と、前記バッファ層上に形成された第1固定層216と、を含む。前記第1固定層216は、CoFeSiB-Pd合金薄膜又はCoSiB-Pd合金薄膜を含む。前記第1固定層216の前記CoFeSiB-Pd合金薄膜又は前記CoSiB-Pd合金薄膜は、後続熱処理によって垂直磁気異方性を発現する。

40

【0098】

選択トランジスタ104は、基板上に配置されたゲート絶縁膜104b及び前記ゲート絶縁膜104b上に配置されたゲート電極104c、及び前記ゲート絶縁膜の両側に配置された不純物領域104aを含む。前記選択トランジスタの不純物領域104aは、前記

50

磁気トンネル接合に電氣的に連結される。前記不純物領域の導電型は、前記ゲート絶縁膜下部のチャンネル領域の導電型と反対の形である。第1層間絶縁膜106は、前記選択トランジスタ104を覆うように配置される。前記不純物領域は、ソース(source)とドレイン(drain)を提供する。前記第1層間絶縁膜を貫いて前記不純物領域に接触するコンタクトプラグ106が配置される。前記コンタクトプラグ104上に磁気トンネル接合が配置される。

【0099】

前記磁気トンネル接合201は、順番に積層した固定層210、トンネル絶縁層220、及び自由層230を含む。前記固定層210は、順番に積層したシード層212、バッファ層214及び第1固定層216を含む。前記シード層212はTaであり、前記バッファ層214はPdであり、前記第1固定層216は同時蒸着したCoFeSiB-Pd合金薄膜又はCoSiB-Pd合金薄膜である。前記第1固定層216は、蒸着の際、垂直磁気異方性を発現しなく、セ氏300度超過セ氏600度未満の熱処理によって垂直磁気異方性を発現する。

【0100】

前記固定層210上にトンネル絶縁層220が配置される。前記トンネルの絶縁層220は、MgOターゲットをスパッタリングして結晶状態で蒸着される。

【0101】

前記トンネルの絶縁層220上に自由層230が配置される。前記自由層230は、同時蒸着したCoFeSiB-Pd合金薄膜又はCoSiB-Pd合金薄膜である。前記自由層230は、蒸着の際には垂直磁気異方性を発現しなく、別途のセ氏300度超過セ氏600度未満の熱処理によって多結晶化されて、垂直磁気異方性を発現する。前記自由層230の磁気特性と前記第1固定層216の磁気特性は互いに異なる。具体的に、前記第1固定層216の飽和磁化は、前記自由層230の飽和磁化より大きい。また、前記第1固定層216の保磁力は、前記自由層230の保磁力より大きい。

【0102】

本発明の変形した実施例によると、前記自由層230は、垂直磁気異方性を有する他の物質に変形する。

【0103】

前記自由層230上に導電パターン240が配置される。前記導線パターン240と接触した自由層230は、前記磁気トンネル接合を通じて流れる電流に起因したスピン伝達トルク(spin transfer torque)によってスイッチングされる。又は、前記自由層230は、前記導線パターン240に流れる面内電流によって発生したスピン電流によってスイッチングされる。或いは、自由層230は、スピン伝達トルク(spin transfer torque)及びスピンオービットトルク(spin orbit torque)によってスイッチングされる。

【0104】

本実施例による磁気メモリ素子200において、基板102上に選択トランジスタ104が形成された後、第1層間絶縁膜107が蒸着される。前記第1層間絶縁膜107の上部は、平坦化される。前記第1層間絶縁膜107に、パターニング工程を使用してコンタクトプラグ106が配置されるコンタクトホールを形成する。前記コンタクトホールが形成された基板の上にコンタクトホールを満たす導電体を埋め立てた後、エッチバック(etch-back)工程を使用してコンタクトプラグ106を形成する。

【0105】

第1層間絶縁膜107上に順次に固定層210、トンネル絶縁層220、及び自由層230を形成する。パターニング工程を通じて固定層210、トンネル絶縁層220、及び自由層230をパターニングして磁気トンネル接合201を形成する。前記磁気トンネル接合201が形成された基板を一回の熱処理を通じて、前記第1固定層216及び前記自由層230に垂直磁気異方性を発現させる。

【0106】

図 1 1 は、本発明の他の実施例による磁気メモリ素子を示す概念図である。

【 0 1 0 7 】

図 1 1 に示すように、磁気メモリ素子 3 0 0 は、選択トランジスタ 1 0 4 と磁気トンネル接合 3 0 1 を含む。前記磁気トンネル接合 3 0 1 は、磁化方向がスイッチングされる自由層 3 3 0 と磁化方向が固定された固定層 3 1 0 との間に介在されたトンネル絶縁層 2 2 0 を含む。前記固定層 3 1 0 は、シード層 2 1 2 と、前記シード層上に形成されたバッファ層 2 1 4 と、前記バッファ層上に形成された第 1 固定層 2 1 6 と、前記第 1 固定層上に配置された非磁性導電層 3 1 8 と、前記非磁性導電層上に配置された第 2 固定層 3 1 9 と、を含む。前記第 1 固定層 2 1 6 は、C o F e S i B - P d 合金薄膜又は C o S i B - P d 合金薄膜を含む。前記第 1 固定層 2 1 6 の前記 C o F e S i B - P d 合金薄膜又は前記 C o S i B - P d 合金薄膜は、後続熱処理によって垂直磁気異方性を発現する。前記非磁性導電層 3 1 8 は、T a 又は W である。前記第 2 固定層 3 1 9 は、後続熱処理の後、垂直磁気異方性を有する非晶質 C o F e B である。前記第 1 固定層と前記第 2 固定層は、同一の磁化方向を有する。前記非磁性導電層は、0.4 nm ないし 0.6 nm の T a 又は W である。前記第 2 固定層は、1 nm 程度の C o F e B である。

10

【 0 1 0 8 】

通常、非晶質 C o F e B を磁性層として使用する場合、垂直磁気異方性を発現するために、セ氏 3 0 0 度以上の熱処理を行うと、非晶質 C o F e B は結晶化され、セ氏 4 0 0 度以上の熱処理を行うと、結晶化された C o F e B は垂直磁気異方性を失う。

【 0 1 0 9 】

20

しかし、本発明による第 1 固定層 2 1 6、非磁性金属層 3 1 8、及び第 2 固定層 3 1 9 構造を使用すると、セ氏 3 0 0 度ないしセ氏 6 0 0 度の熱処理を行った場合、第 1 固定層（又は C o S i B - P d 合金薄膜）は垂直磁気異方性を発現し、前記第 2 固定層（又は C o F e B）は垂直磁気異方性を維持する。

【 0 1 1 0 】

前記第 2 固定層 3 1 9 上にトンネル絶縁膜 2 2 0 が配置される。前記トンネル絶縁膜 3 2 0 は、スパッタリング蒸着方法によって形成され、蒸着と同時に結晶性を有する 1 nm 程度の M g O である。

【 0 1 1 1 】

前記トンネル絶縁膜上に自由層 3 3 0 が配置される。前記自由層 3 2 0 は、C o F e B である。これによって、C o F e B / M g O / C o F e B の構造に起因した高い T M R の値を維持する。

30

【 0 1 1 2 】

本発明の一実施例によると、熱処理は、第 1 固定層 2 1 6 及び第 2 固定層 3 1 9 を形成した後、熱処理される。これによって、前記第 1 固定層 2 1 6 は、垂直磁気異方性を発現し、前記第 2 固定層 3 1 9 は、垂直磁気異方性を維持する。また、前記自由層 3 3 0 を形成した後に非晶質状態の自由層のために別途の補助熱処理が行われる。前記補助熱処理の温度は、前記第 1 固定層 2 1 6 に垂直磁気異方性を提供するための熱処理温度より低い。

【 0 1 1 3 】

上記のように、本発明を特定の好ましい実施例に対して図示して説明したが、本発明はこのような実施例に限られず、当該発明が属する技術分野において通常の知識を有する者が特許請求の範囲で請求する本発明の技術的思想を逸脱しない範囲内で行うことができる多様な形態の実施例を全て含む。

40

【 符号の説明 】

【 0 1 1 4 】

1 1 2 シード層

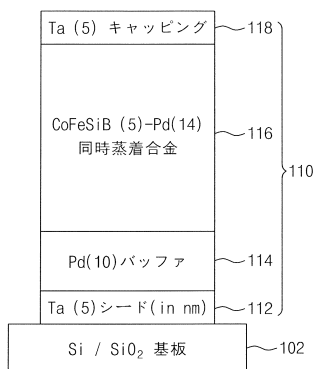
1 1 4 P d バッファ層

1 1 6 C o F e S i B - P d 合金薄膜

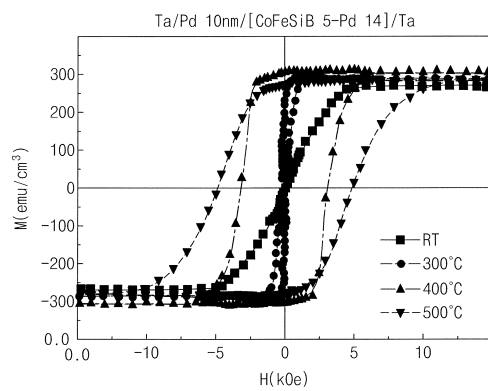
1 1 8 キャッピング層

50

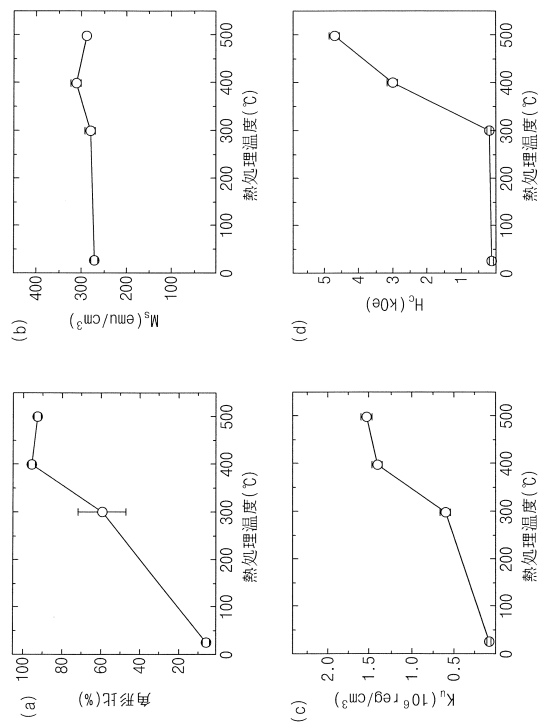
【図 1】



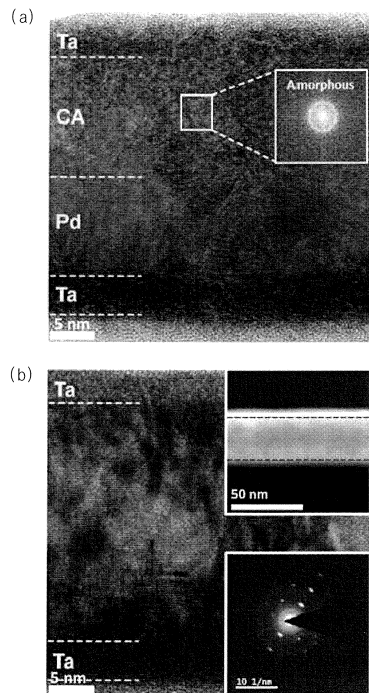
【図 2】



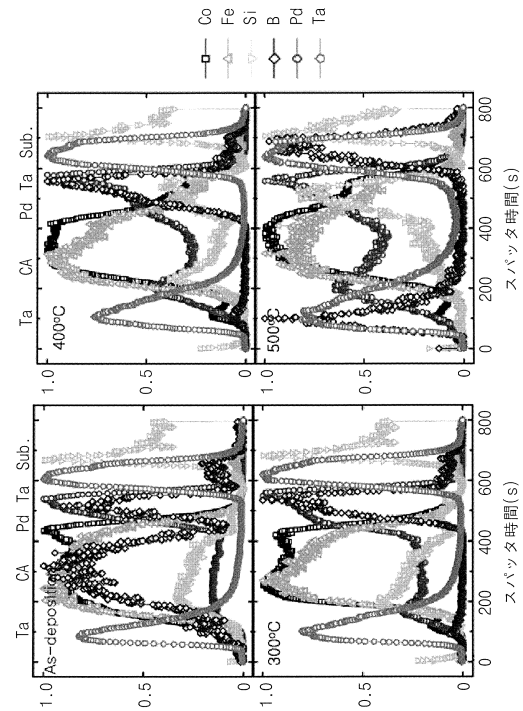
【図 3】



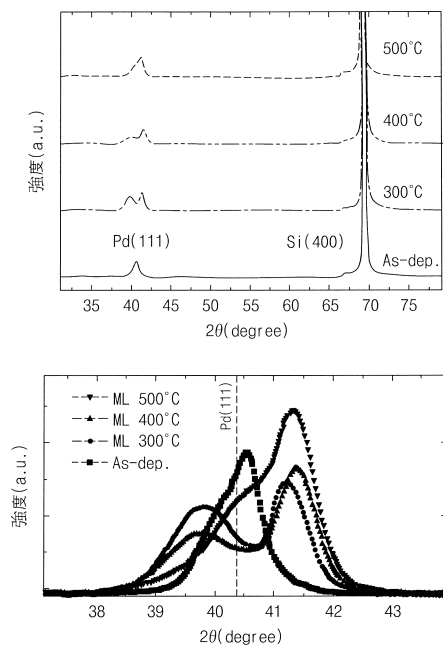
【図 4】



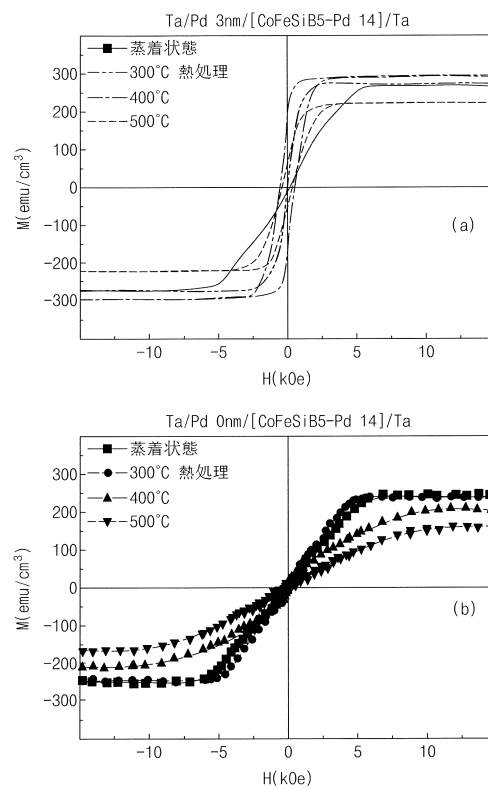
【図 5】



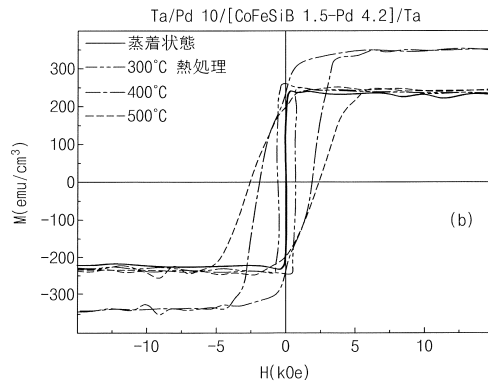
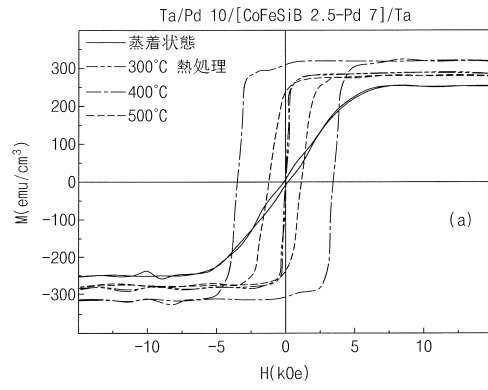
【図 6】



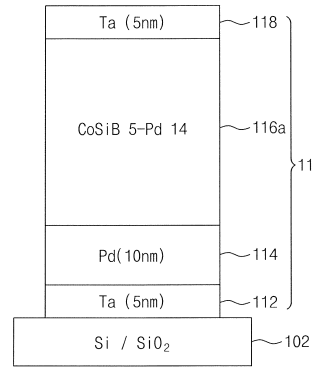
【図 7】



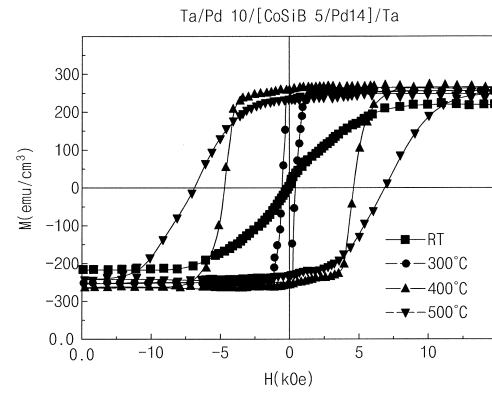
【図 8】



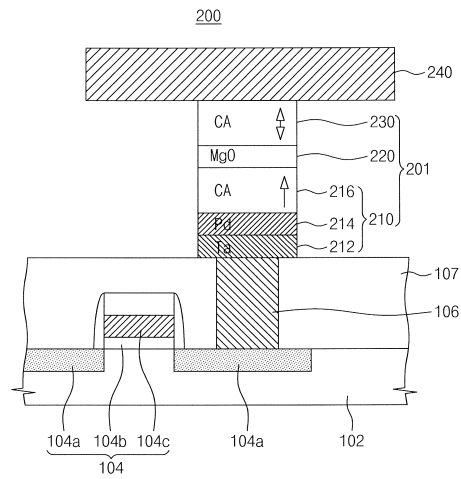
【図 9 A】



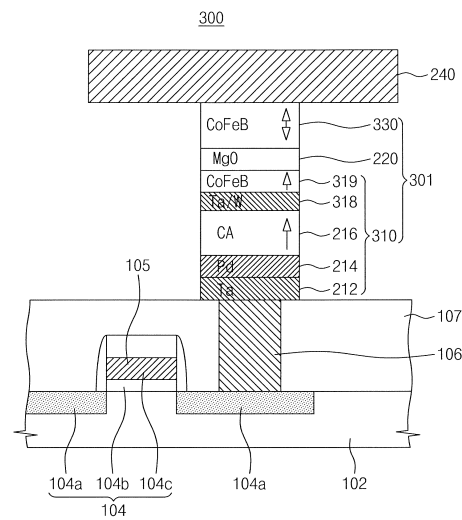
【図 9 B】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 H 0 1 L 27/105 (2006.01) H 0 1 L 43/12
 H 0 1 L 43/12 (2006.01) H 0 1 F 10/16
 H 0 1 F 10/16 (2006.01) H 0 1 F 10/28
 H 0 1 F 10/28 (2006.01) H 0 1 F 10/32
 H 0 1 F 10/32 (2006.01)

(74)代理人 100191086

弁理士 高橋 香元

(72)発明者 キム, ヤング ケウン

大韓民国, ソウル, ガンナム - グ, アプグジョン - ロ 6 1 - ギル, 3 7, 7 2 - 1 1 0 9

(72)発明者 キム, ユン ジン

大韓民国, チュンチョンブク - ト 2 8 1 5 4, チョンジュ - シ, チョンウォン - グ, ナエス - ウ
 プ, ムクバン 2 ガ - ギル, 6

審査官 田中 崇大

(56)参考文献 特開平 0 7 - 0 8 6 0 3 8 (J P , A)

特開昭 6 2 - 0 6 0 1 1 3 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 2 4 4 0 5 8 (U S , A 1)

米国特許第 0 4 3 9 6 5 7 7 (U S , A)

特表 2 0 1 5 - 5 3 4 2 7 2 (J P , A)

J. Yoon, S. Jung, Y. Choi, J. Cho, C. Y. You, M. H. Jung, H. I. Yim, Time-dependent magnetization reversal in amorphous CoSiB/Pd multilayers with perpendicular magnetic anisotropy, Journal of Applied Physics, 米国, AIP Publishing, 2 0 1 3 年 4 月 1 2 日, volume 113, issue 17, 17A342-1~17A342-3

S. A. Gusev, Y. N. Nozdrin, D. B. Rozenshtein, A. E. Tselev, Effect of thermal annealing on the magnetic properties of thin films of Co-Pd alloys, Technical Physics, 米国, American Institute of Physics, 1 9 9 8 年 4 月, Volume 43, Number 4, Pages 407-411

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 1 F 1 0 / 0 0 - 1 0 / 3 2

4 1 / 1 4 - 4 1 / 3 4

H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 9

2 7 / 1 0 5

2 7 / 2 2

2 9 / 8 2

4 3 / 0 0 - 4 3 / 1 4