

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6375414号
(P6375414)

(45) 発行日 平成30年8月15日(2018.8.15)

(24) 登録日 平成30年7月27日(2018.7.27)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/8239 (2006.01)	HO 1 L 27/105 4 4 7
HO 1 L 27/105 (2006.01)	HO 1 L 29/82 Z
HO 1 L 29/82 (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 43/10

請求項の数 14 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-99031(P2017-99031)	(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2018-98482(P2018-98482A)		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	10-2016-0170114		FOUNDATION
(32) 優先日	平成28年12月14日(2016.12.14)		大韓民国、136-701 ソウル、ソン
(33) 優先権主張国	韓国(KR)		ブク-グ、アナム-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多層薄膜

(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ターゲットを交互にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上に[CoFeSiB/Pd]多層薄膜を形成する段階を含み、

前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の積層回数nは、3以上であることを特徴とする垂直磁気異方性を有するCoFeSiB/Pd多層薄膜の製造方法。

【請求項2】

前記[CoFeSiB/Pd]多層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多層薄膜の製造方法。

【請求項3】

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]多層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2に記載の垂直磁気異方性を有するCoFeSiB/Pd多層薄膜の製造方法。

【請求項4】

前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜は、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多層薄膜の製造方法。

10

20

【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、

$x = 70.5$ 、 $y = 4.5$ 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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜の製造方法。

【請求項 6】

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜は、アルゴン雰囲気下で 2 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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜の製造方法。

【請求項 7】

CoFeSiB と Pd の厚さ比は、 $1 : 1.6$ 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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜の製造方法。

【請求項 8】

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の角形比は、 90% 以上であり、

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であり、

磁気異方性エネルギーは、 $1.0 \times 10^6\text{ erg/cm}^3$ 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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜の製造方法。

【請求項 9】

基板上に形成された $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜を含み、

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の積層回数 n は、 3 以上であることを特徴とする垂直磁気異方性を有する $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜。

【請求項 10】

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の角形比は、 90% 以上であり、

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であり、

磁気異方性エネルギーは、 $1.0 \times 10^6\text{ erg/cm}^3$ 以上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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜。

【請求項 11】

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の厚さは、 9.5 nm ないし 20 nm であり

CoFeSiB と Pd の厚さ比は、 $1 : 1.6$ 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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜。

【請求項 12】

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の下部にバッファ層と、

前記バッファ層下部にシード層と、をさらに含み、

前記バッファ層は、 Pd であり、 3 nm 以上の厚さを有し、

前記シード層は、 Ta 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 $\text{CoFeSiB}/\text{Pd}$ 多層薄膜。

【請求項 13】

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、を含み、

前記第 1 固定層は、 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜を含み、

前記 $[\text{CoFeSiB}/\text{Pd}]$ 多層薄膜の積層回数 n は、 3 以上であることを特徴とする磁気トンネル接合素子。

【請求項 14】

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したC o F e B 薄膜を含むことを特徴とする請求項13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、磁性多層薄膜に関するものとして、より詳細には、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磁性多層薄膜と、これを用いた磁気メモリ素子に関する。

10

【背景技術】

【0002】

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、高集積化を実現するために、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。

30

【0005】

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。固定層のスピン方向は固定されていて、自由層のスピン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。

40

【0006】

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(ferromagnetic 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方向が正反対であれば(antiparallel)、抵抗が大きく、電流のトンネリング確率が小さくなる

50

。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減少させると同時に、セルのアスペクト比 (a s p e c t r a t i o) 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 (d e m a g n e t i z a t i o n f i e l d) による多磁区 (m u l t i - d o m a i n) 又はボルテックス (v o r t e x) 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。

【 0 0 0 7 】

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。

10

【 0 0 0 8 】

このような理由で開発されたものが垂直磁気異方性 (p e r p e n d i c u l a r m a g n e t i c a n i s o t r o p y 、 P M A) を有する磁気トンネル接合である (N a o k i N i s h i m u r a e t a l . 、 J . A p p l . P h y s . 、 v o l . 9 1 、 p . 5 2 4 6 . 2 0 0 2) 。 N i s h i m u r a グループは、垂直磁気異方性物質としてよく知られた T b F e C o 、 G d F e C o 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 5 5 % を得た。また、M F M (m a g n e t i c f o r c e m i c r o s c o p e) 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 T b 、 G d 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である。

20

【 0 0 0 9 】

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 C o C r 系合金膜、C o / P t 、C o / P d 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 (r e m a n e n t m a g n e t i z a t i o n) 値が大きいものを要求する。

【 0 0 1 0 】

30

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 (c o e r c i v i t y) と再生マージン (r e a d i n g m a r g i n) 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 (r e m a n e n t m a g n e t i z a t i o n) 値が飽和磁化 (s a t u r a t i o n m a g n e t i z a t i o n) 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。

【 0 0 1 1 】

垂直磁気異方性を有する磁気トンネル接合を簡単に p M T J (p e r p e n d i c u l a r m a g n e t i c t u n n e l j u n c t i o n) と称する。p M T J の自由層として使用するために、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、p M T J 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。

40

【 0 0 1 2 】

一般的に磁気トンネル接合は、スパッタリング (s p u t t e r i n g) 、分子線エピタキシ (M B E : m o l e c u l a r b e a m e p i t a x y) 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 (b a c k - e n d - o f - l i n e 、 B E O L) の際に必要な高い温度 (通常 4 0 0 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。

【 0 0 1 3 】

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

50

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。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の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、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】

【0016】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するCoFeSiB/Pd多層薄膜の製造方法は、真空チャンバ内でCoFeSiBターゲットとPdターゲットを交互にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上に[CoFeSiB/Pd]多層薄膜を形成する段階を含む。前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の積層回数nは、3以上である。

【0017】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層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。

【0018】

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[CoFeSiB/Pd]多層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。

【0019】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜は、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。

【0020】

本発明の一実施例において、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。

【0021】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜は、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。

【0022】

本発明の一実施例において、CoFeSiBとPdの厚さ比は、1 : 1.6ないし1 : 7である。

【0023】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の角形比は、90%以上であり、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であり、磁気異方性エネルギーは、 $1.0 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 以上である。

【0024】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するCoSiB/Pd多層薄膜の製造方法は、真空チャンバ内でCoSiBターゲットとPdターゲットを交互にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上に[CoSiB/Pd]多層薄膜を形成する段階を含む。前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の積層回数nは、3以上である。

【0025】

本発明の一実施例において、前記[CoSiB/Pd]多層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。

【0026】

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[CoSiB/Pd]多層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。

【0027】

本発明の一実施例において、前記[CoSiB/Pd]多層薄膜は、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。

【0028】

本発明の一実施例において、前記CoSiBターゲットの組成比は、 $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ (atomic%)である。

10

【0029】

本発明の一実施例において、前記[CoSiB/Pd]多層薄膜は、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。

【0030】

本発明の一実施例において、CoSiBとPdの厚さ比は、1:1.6ないし1:7である

【0031】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するCoFeSiB/Pd多層薄膜は、基板上に形成された[CoFeSiB/Pd]多層薄膜を含む。前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の積層回数nは、3以上である。

20

【0032】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の角形比は、90%以上であり、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上であり、磁気異方性エネルギーは、 $1.0 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 以上である。

【0033】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の厚さは、9.5 nmないし20 nmであり、CoFeSiBとPdの厚さ比は、1:1.6ないし1:7である。

【0034】

本発明の一実施例において、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の下部にバッファ層と、前記バッファ層下部にシード層と、をさらに含む。前記バッファ層は、Pdであり、3 nm以上の厚さを有し、前記シード層は、Taである。

30

【0035】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性を有するCoSiB/Pd多層薄膜は、基板上に形成された[CoSiB/Pd]多層薄膜を含む。前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の積層回数nは、3以上である。

【0036】

本発明の一実施例において、前記垂直磁気異方性が発現した前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の角形比は、90%以上であり、前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の飽和磁化は、 200 emu/cm^3 以上である。

40

【0037】

本発明の一実施例において、前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の厚さは、9.5 nmないし20 nmであり、CoSiBとPdの厚さ比は、1:1.6ないし1:7である。

【0038】

本発明の一実施例において、前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の下部にバッファ層と、前記バッファ層下部にシード層と、をさらに含む。前記バッファ層は、Pdであり、3 nm以上の厚さを有し、前記シード層は、Taである。

【0039】

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、

50

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]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜を含み、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は前記[CoSiB/Pd]多層薄膜の積層回数nは、3以上である。

【0040】

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固定層をさらに含み、前記第2固定層は、垂直磁気異方性を有したCoFeB薄膜を含む。

【発明の効果】

【0041】

10

本発明の一実施例による磁性層は、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層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]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜は、熱処理後に垂直磁気異方性を維持し、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】

【0042】

【図1】本発明の一実施例による垂直磁気異方性多層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。

20

【図3】本発明の一実施例による多層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多層薄膜の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。

30

【図8】[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の積層回数による磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図9】[CoFeSiB/Pd]₂多層薄膜の熱処理温度による磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図10】[CoFeSiB/Pd]₁₀多層薄膜のCoFeSiB層とPd層の厚さによる磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図11】[CoFeSiB/Pd]₉多層薄膜のCoFeSiB層とPd層の厚さによる磁気ヒステリシス曲線を示す。

【図12A】本発明の他の実施例による垂直磁気異方性多層薄膜を説明する概念図である。

40

【図12B】図12Aの垂直磁気異方性多層薄膜の磁気ヒステリシス曲線を示す図面である。

【図13】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14】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】

【0043】

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 magnetic anisotropy)を有した磁気トンネル接合MTJs(Magne

50

tic 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。

【0044】

p-MTJ (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。

【0045】

また、磁気トンネル接合は、セ氏400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

【0046】

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。

【0047】

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。

【0048】

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

【0049】

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。このような規則合金は、 $\sim 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 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。

【0050】

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。

30

【0051】

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

【0052】

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。

【0053】

本発明で、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜 (又は[CoSiB/Pd]多層薄膜) で垂直磁気異方性特性を調べた。[CoFeSiB/Pd]多層薄膜 (又は[CoSiB

50

/Pd]多層薄膜)は、セ氏500度までの温度で熱処理に露出しても磁気異方性を維持した。

【0054】

本発明の一実施例によると、セ氏300度以上の熱処理工程の後にも、垂直磁気異方性を維持する磁気多層薄膜を提案する。この多層薄膜は、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。

【0055】

本発明の一実施例による多層薄膜は、高いトンネル磁気抵抗(TMR)値を誘発するCoFeB(自由層)/MgO(トンネル層)/CoFeB(固定層)構造の磁気トンネル接合に適用される。具体的に、Pd/[CoFeSiB/Pd]_n/W(又はTa)/CoFeB/MgO(トンネル層)/CoFeB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度程度の高い熱処理安定性が確保される。

【0056】

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。

【0057】

図1は、本発明の一実施例による垂直磁気異方性多層薄膜を説明する断面である。

【0058】

図1に示すように、垂直磁気異方性多層薄膜110の製造方法は、真空チャンバ内でCoFeSiBターゲットとPdターゲットを交互にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板上に[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117を形成する段階を含む。

【0059】

基板102上に順次にシード層112、バッファ層114、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117、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Taであり、前記バッファ層114は10 nmのPdであり、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117の積層回数nは10回であり、CoFeSiB層115a~115nは0.5 nmであり、Pd層116a~116nは1.4 nmである。また、キャッピング層118は5 nmのTaである。

【0060】

本発明の一実施例による垂直磁気異方性薄試験片は、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/Ta 5/Pd 10/[CoFeSiB 0.5/Pd 1.4]₁₀/Ta 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、Taはシード層(seed layer)であり、Pdはバッファ層である。他のTa層は、キャッピング層(capping layer)である。[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117は、スパッタ法を用いた多層薄膜である。前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117は、0.5 nm厚さのCoFeSiBと1.4 nm厚さにPdが交互に蒸着して形成される。これによって、前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117の総厚さは19 nmである。

【0061】

本発明の一実施例によると、[CoFeSiB 0.5/Pd 1.4]多層薄膜は、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ターゲットの組成比は、Co_{70.5}Fe_{4.5}Si_{1.5}B_{1.0}である(数字は、atomic percent)。[CoFeSiB 0.5/Pd 1.4]多層薄膜は、蒸着の際には垂直磁気異方性を示す。

【0062】

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 0.5/Pd 1.4]₁₀/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] 多層薄膜 117 は、非晶質状態であり、垂直磁気異方性を示す。

10

【0063】

[薄膜蒸着後の熱処理に対する安定性]

前記 [CoFeSiB/Pd] 多層薄膜 117 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 0.5/Pd 1.4] 多層薄膜 117 は、垂直磁気異方性を維持した。

【0064】

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。

20

【0065】

図 2 に示すように、第 1 試料は、Ta/Pd 10 nm/[CoFeSiB 0.5/Pd 1.4]₁₀/Ta 構造である。第 1 試料は、本発明の一実施例による DC スパッタ法を用いて形成され、第 1 試料の [CoFeSiB/Pd] 多層薄膜は 10 回積層され、常温で熱処理前に垂直磁気異方性を見せる。第 1 試料は、セ氏 300 度、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をさらに強く見せる。

【0066】

第 1 試料は、熱処理のない場合、約 500 Oe の低い保磁力を示し、セ氏 300 度 1 時間の熱処理の際、約 1 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。

30

【0067】

図 3 は、本発明の一実施例による多層薄膜の熱処理温度による磁気的特性を示す。

【0068】

図 3 (a) に示すように、熱処理に関係なく角形比 (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。

【0069】

図 3 (b) に示すように、熱処理温度に関係なく、略 300 emu/cm^3 の飽和磁化値を維持した。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 を除いた多層薄膜 117 の体積を用いて計算された。

40

【0070】

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 、 e_{ff} が増加し、セ氏 400 度熱処理の後、 $1.77 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ を示した。

【0071】

図 3 (d) に示すように、保磁力 H_c は、セ氏 300 度以上の熱処理の際、急激に増加し、セ氏 500 度熱処理の後、5000 Oe を見せた。このような磁気的特性に基づいて、[CoFeSiB/Pd] 多層薄膜 117 は、磁気トンネル接合の固定層として使用

50

される。BOEL工程を模写するために、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]多層薄膜117は、垂直磁気異方性特性を維持する。3 kOe以上の高い保磁力と約 300 emu/cm^3 の一定の飽和磁化、約 $1.77 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 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]多層薄膜117は、磁気トンネル接合の固定層として使用される。

【0072】

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

10

【0073】

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。[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117は、熱処理前に0.5 nm厚さのCoFeSiB層と1.4 nmのPd層のスタックで構成される。セ氏500度熱処理後には、垂直磁気異方性多層薄膜110は、Taのシード層112とTaのキャッピング層118、そしてシード層とキャッピング層との間に配置された合金層で構成された構造を見せる。前記合金層は、多結晶構造である。セ氏500度熱処理の後、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117とバッファ層114との間の境界面がなくなり、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117とバッファ層114は、単一多結晶相(single polycrystalline phase)の合金層に変形された。熱処理を行う間に、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜117とバッファ層114との間の相互拡散が発生する。熱処理を通じて、非晶質構造のCoFeSiB層は、多結晶合金構造に変わることを確認することができる。それにもかかわらず、垂直磁気異方性多層薄膜110は、垂直磁気異方性を維持した。

20

【0074】

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。

【0075】

図5に示すように、薄膜の元素別深さプロファイル(elemental depth profiles)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。

30

【0076】

熱処理前CoFeSiB/Pd]多層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]多層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。

【0077】

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

【0078】

40

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(intermetallic compound)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格子が膨張されることが分かる。熱処理前蒸着された状態で、 40.36° のピークは、面心立方晶(face-centered cubic、fcc)111-Pdに起因する。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。

【0079】

セ氏500度熱処理後の[CoFeSiB/Pd]多層薄膜のXRDのピーク位置は、

50

41.2°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。

【0080】

多層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、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜は、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。熱処理前の[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の垂直磁気異方性の原因は、界面効果に起因するが、高温熱処理後に[CoFeSiB/Pd]多層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。

10

【0081】

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。

【0082】

図7に示すように、(a)はバッファ層の厚さが3 nm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 0.5/Pd 1.4]₁₀/Ta構造である。第3試料は、Ta/Pd 0 nm/[CoFeSiB 0.5/Pd 1.4]₁₀/Ta構造である。

【0083】

20

前記第2試料は、熱処理前にも、十分な熱処理後の保磁力を示さない。また、第3試料は、熱処理前にも、十分な熱処理後の保磁力を示さない。したがって、[CoFeSiB/Pd]n多層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以上のバッファ層を有する必要がある。

【0084】

図8は、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の積層回数による磁気ヒステリシス曲線を示す。

【0085】

図8に示すように、熱処理前のTa/Pd 10/[CoFeSiB 0.3/Pd 1.1]n/Ta構造の磁気ヒステリシス曲線であり、積層回数nは、1から10まで増加することによって、保磁力と飽和磁化が増加する。これによって、適切な保磁力、飽和磁化、角形比、又は垂直異方性エネルギーを達成するために、多層薄膜の積層回数が選ばれる。また、積層回数nが3以上である場合、セ氏500度の熱処理後にも垂直磁気異方性が維持される。

30

【0086】

図9は、[CoFeSiB/Pd]₂多層薄膜の熱処理温度による磁気ヒステリシス曲線を示す。

【0087】

図9に示すように、Ta/Pd 10/[CoFeSiB 0.5/Pd 1.4]₂/Ta構造の磁気ヒステリシス曲線であり、積層回数nが2である場合、セ氏300度熱処理の際、垂直磁気異方性が現れるが、セ氏400度以上の熱処理の際、垂直磁気異方性が失われる。したがって、積層回数は、3以上であることが好ましい。

40

【0088】

図10は、[CoFeSiB/Pd]₁₀多層薄膜のCoFeSiB層とPd層の厚さによる磁気ヒステリシス曲線を示す。

【0089】

図9に示すように、Ta/Pd 10/[CoFeSiB 0.3/Pd]₁₀/Ta構造の磁気ヒステリシス曲線であり、積層回数nは10であり、CoFeSiB層の厚さは0.3 nmで固定され、Pd層の厚さは0.5 nmないし1.7 nmの範囲で変更された。CoFeSiB層とPd層の厚さ比は、1:1.6ないし1:7である。前記CoFe

50

SiB層の厚さは、0.3 nm以上である。

【0090】

また、Pdの厚さがCoFeSiBに対比して増加すると、飽和磁化が減少し、保磁力は増加する。CoFeSiBとPdの厚さ比は、1:1.6ないし1:7である。これによって、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、CoFeSiB層とPd層の厚さ比が選ばれる。また、セ氏500度の熱処理後も垂直磁気異方性が維持される。前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜の厚さは、9.5 nmないし20 nmであることが好ましい。

【0091】

図11は、[CoFeSiB/Pd]₉多層薄膜のCoFeSiB層とPd層の厚さによる磁気ヒステリシス曲線を示す。

10

【0092】

図11に示すように、Ta₅/Pd₁₀/[CoFeSiB_{0.5}/Pd_{1.4}]₁₀/CoFeSiB_{0.5}/Ta_{0.4}/CoFeB_{1.0}/MgO_{1.0}/Ta₅構造の磁気ヒステリシス曲線であり、セ氏500度の熱処理後も垂直磁気異方性が維持される。このような構造は、磁気トンネル接合のTMR値を向上させるために、CoFeB/MgO/CoFeBに適用される。このような場合にも、垂直磁気異方性が維持される。

【0093】

図12Aは、本発明の他の実施例による垂直磁気異方性多層薄膜を説明する概念図である。

20

【0094】

図12Bは、図12Aの垂直磁気異方性多層薄膜の磁気ヒステリシス曲線を示す図面である。

【0095】

図12A及び図12Bに示すように、垂直磁気異方性薄膜210は、基板102上に順次にシード層112、バッファ層114、[CoSiB/Pd]多層薄膜217、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]多層薄膜217は0.5 nmのCoSiB層215aと1.4 nmのPd層216aを含む。前記[CoSiB/Pd]多層薄膜217の積層回数は、3ないし10である。前記キャッピング層118は、5 nmのTaである。

30

【0096】

垂直磁気異方性多層薄膜の製造方法は、真空チャンバ内でCoSiBターゲットとPdターゲットを交互にスパッタして、前記真空チャンバ内に配置された基板102上に[CoSiB/Pd]多層薄膜を形成する。前記[CoSiB/Pd]多層薄膜217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]多層薄膜217を形成した後にキャッピング層118を形成する。前記[CoSiB/Pd]多層薄膜217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]多層薄膜217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の厚さ比は、1:1.6ないし1:7である。[CoSiB/Pd]多層薄膜217の総厚さは、9.5 nmないし20 nmである。

40

【0097】

垂直磁気異方性薄膜210は、セ氏300度ないしセ氏500度の1時間熱処理後も垂直磁気異方性を維持する。

【0098】

図13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。

50

【0099】

図13に示すように、磁気メモリ素子300は、選択トランジスタ104と磁気トンネル接合301を含む。前記磁気トンネル接合301は、磁化方向がスイッチングされる自由層330と磁化方向が固定された固定層310との間に介在されたトンネル絶縁層320を含む。前記固定層310は、シード層312と、前記シード層上に形成されたバッファ層314と、前記バッファ層314上に形成された第1固定層317を含む。前記シード層312はTaであり、前記バッファ層314はPdである。前記第1固定層317は、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜を含む。前記第1固定層317の前記[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は前記[CoSiB/Pd]多層薄膜は、セ氏300度ないしセ氏500度の1時間熱処理後にも垂直磁気異方性を維持する。

10

【0100】

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は反対の形である。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。

20

【0101】

前記磁気トンネル接合301は、順次に積層した固定層310、トンネル絶縁層320、及び自由層330を含む。前記固定層310は、順次に積層したシード層312、バッファ層314及び第1固定層317を含む。前記シード層312はTaであり、前記バッファ層314はPdであり、前記第1固定層317は交互に蒸着された[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜である。[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜の積層回数は、3以上である。前記第1固定層317は、セ氏300度超過セ氏600度未満の熱処理の後にも垂直磁気異方性を維持する。

30

【0102】

前記固定層310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320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。

【0103】

前記トンネルの絶縁層320上に自由層330が配置される。前記自由層330は、DCスパッタ法による[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜である。前記自由層330は、蒸着の際に垂直磁気異方性を発現する。前記自由層330の磁気特性と前記第1固定層317の磁気特性は互いに異なる。具体的に、前記第1固定層317の飽和磁化は、前記自由層330の飽和磁化より大きい。また、前記第1固定層317の保磁力は、前記自由層330の保磁力より大きい。

40

【0104】

本発明の変形した実施例によると、前記自由層330は、垂直磁気異方性を有する他の物質に変形する。

【0105】

前記自由層330上に導電パターン340が配置される。前記導電パターン340と接触した自由層330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によってスイッチングされる。又は、前記自由層330は、前記導電パターン340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330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

50

る。

【0106】

本実施例による磁気メモリ素子300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。

【0107】

第1層間絶縁膜107上に順次に固定層310、トンネル絶縁層320、及び自由層330を形成する。パターニング工程を通じて、固定層310、トンネル絶縁層320、及び自由層330をパターニングして磁気トンネル接合301を形成する。

10

【0108】

図14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。

【0109】

図14に示すように、磁気メモリ素子400は、選択トランジスタ104と磁気トンネル接合401を含む。前記磁気トンネル接合401は、磁化方向がスイッチングされる自由層430と磁化方向が固定された固定層410との間に介在されたトンネル絶縁層320を含む。前記固定層410は、シード層312と、前記シード層上に形成されたバッファ層314と、前記バッファ層上に形成された第1固定層317と、前記第1固定層上に配置された非磁性導電層418と、前記非磁性導電層上に配置された第2固定層419と、を含む。前記第1固定層317は、[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜を含む。[CoFeSiB/Pd]多層薄膜又は[CoSiB/Pd]多層薄膜の積層回数は、3以上である。前記非磁性導電層418は、Ta又はタングステンである。前記第2固定層419は、後続熱処理の後、垂直磁気異方性を有する非晶質CoFeBである。前記第1固定層317と前記第2固定層419は、同一の磁化方向を有する。前記非磁性導電層418は、0.4 nmないし0.6 nmのTa又はWである。前記第2固定層419は、1 nm程度のCoFeBである。

20

【0110】

通常、非晶質CoFeB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300度以上の熱処理を行うと、非晶質CoFeBは結晶化され、セ氏400度以上の熱処理を行うと、結晶化されたCoFeBは垂直磁気異方性を失う。

30

【0111】

しかし、本発明による第1固定層317、非磁性金属層418、及び第2固定層419構造を使用すると、セ氏300度ないしセ氏600度の熱処理を行った場合、第1固定層(又は[CoSiB/Pd]多層薄膜)は、垂直磁気異方性を維持し、前記第2固定層(又はCoFeB)もまた垂直磁気異方性を維持する。

【0112】

前記第2固定層419上にトンネル絶縁膜220が配置される。前記トンネル絶縁膜320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MgOである。

40

【0113】

前記トンネル絶縁膜上に自由層430が配置される。前記自由層430は、CoFeBである。これによって、磁気トンネル接合401は、CoFeB/MgO/CoFeBの構造に起因した高いTMR値を維持する。

【0114】

本発明の一実施例によると、第1固定層317、第2固定層419、トンネル絶縁層320、及び自由層430を形成した後、熱処理される。これによって、前記自由層430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216に垂直磁気異方性を提供するための熱処理温度より低

50

い。

【 0 1 1 5 】

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。

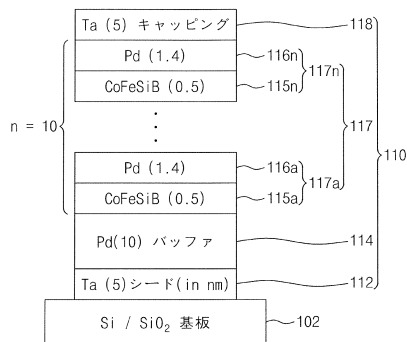
【符号の説明】

【 0 1 1 6 】

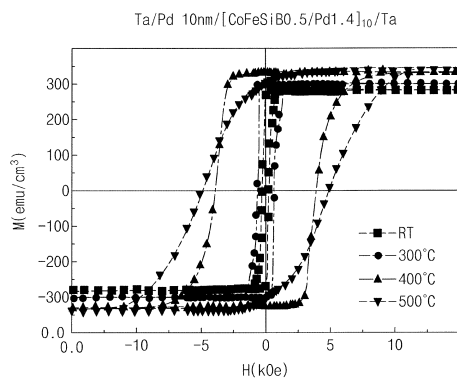
- 1 1 2 シード層
- 1 1 4 P d バッファ層
- 1 1 7 [C o F e S i B / P d] 多層薄膜
- 1 1 8 キャッピング層

10

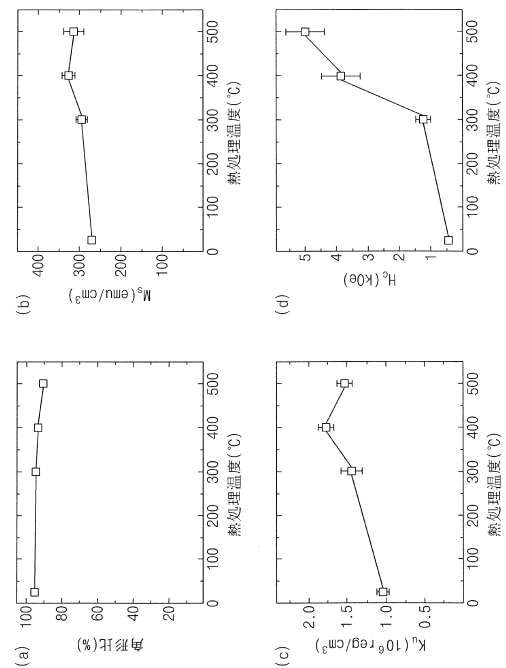
【 図 1 】



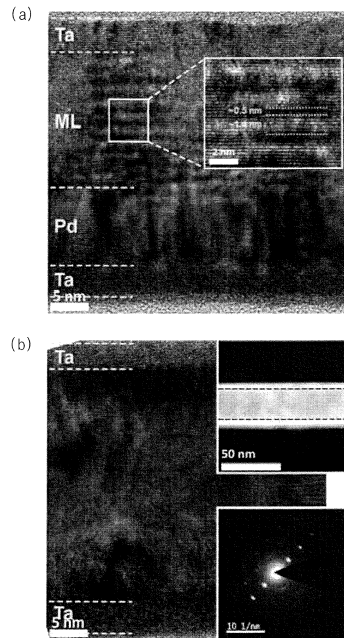
【 図 2 】



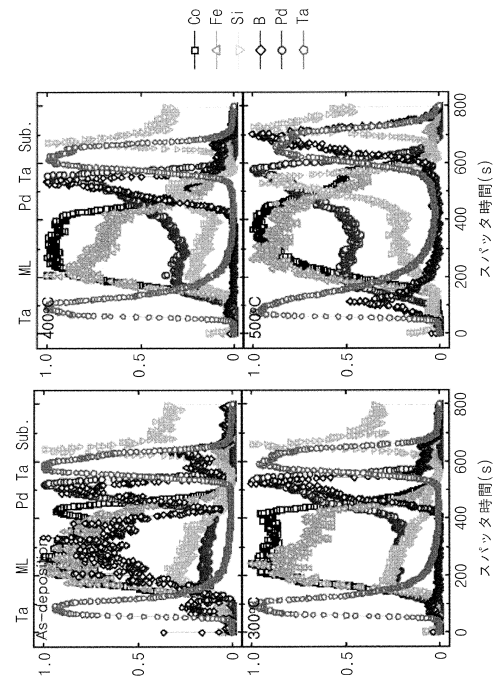
【 図 3 】



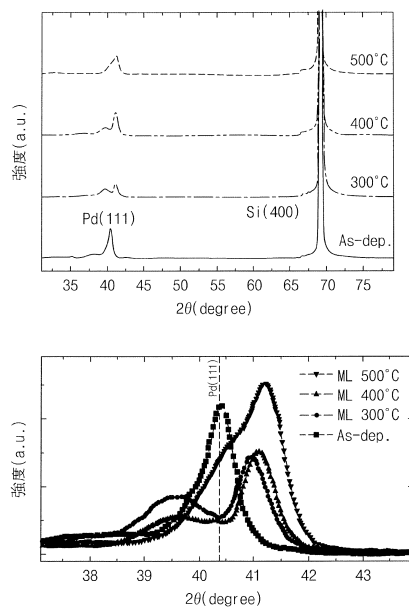
【図 4】



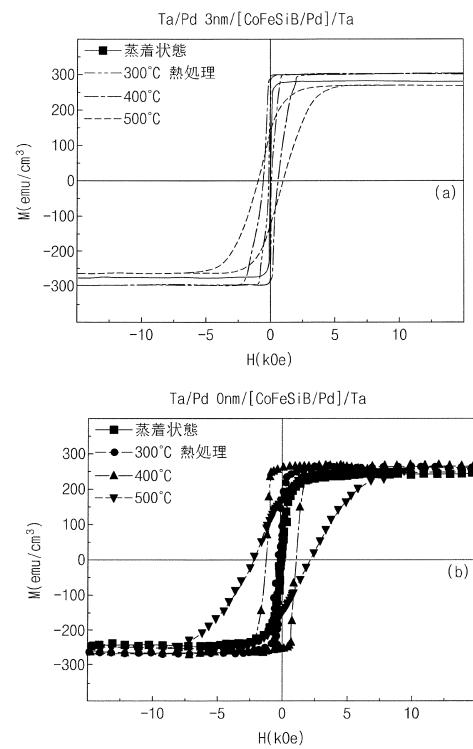
【図 5】



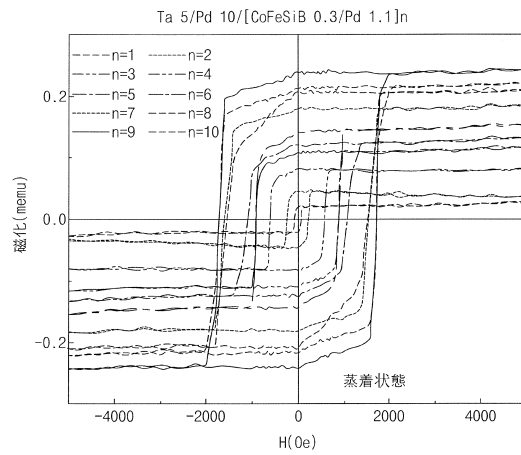
【図 6】



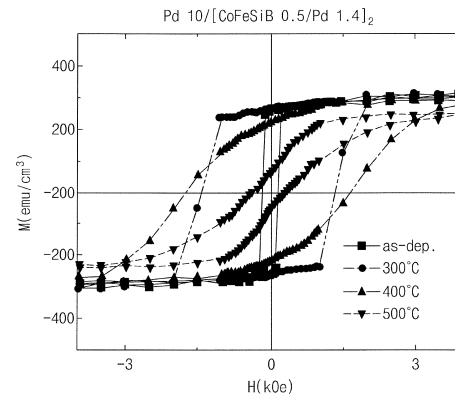
【図 7】



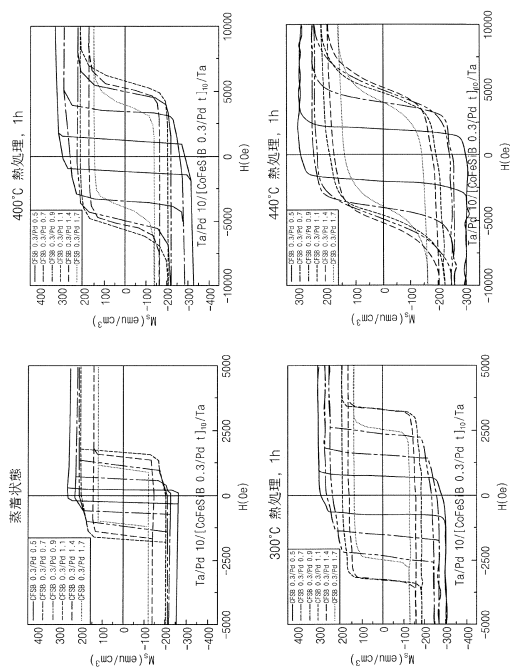
【図 8】



【図 9】

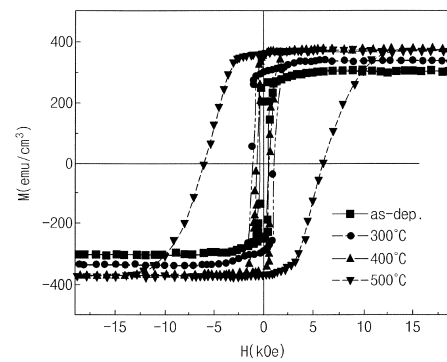


【図 10】

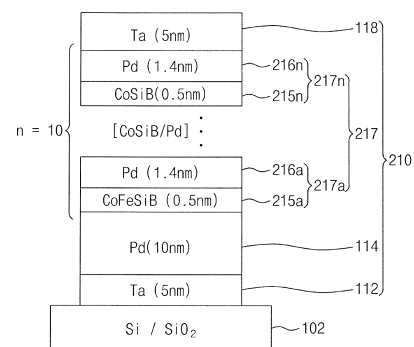


【図 11】

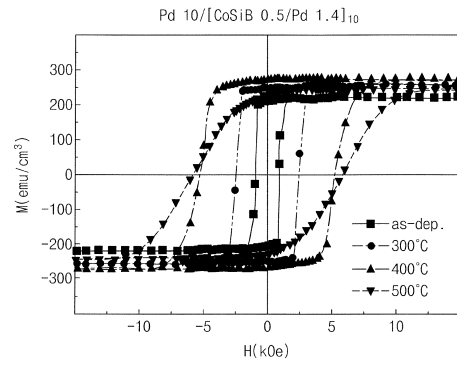
Ta 5/Pd 10/[CFSB 0.5/Pd 1.4]₉/CoFeSiB 0.5/Ta 0.4/CpFeb 1.0/MgO 1.0/Ta 5



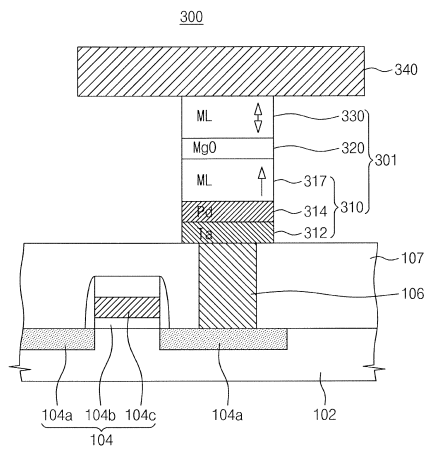
【図 12 A】



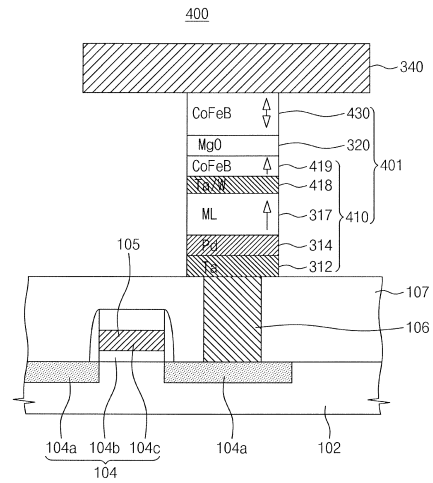
【図 1 2 B】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 43/12 (2006.01) H 0 1 L 43/12

(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 0 6 0 0 9, 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
ブ, ムクバン 2 ガ - ギル, 6

審査官 上田 智志

(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 1 3 5 6 7 6 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 2 5 3 6 3 7 (J P , A)

Sol JUNG et al., Dependence of Perpendicular Magnetic Anisotropy and Hall Resistivity on Pd-layer Thickness in CoSiB/Pd Multilayer, Journal of the Korean Physical Society, 2 0 1 5 年 8 月, Vol. 67, No. 3, pp. 547 - 550

Sol JUNG et al., Perpendicular Magnetic Anisotropy in CoSiB/Pd Multilayers with Various Thicknesses, Journal of the Korean Physical Society, 2 0 1 3 年 1 月, Vol. 62, No. 2, pp. L201 - L205

Sol JUNG et al., Effects of Rapid Thermal Annealing on the Magnetic Properties of CoSiB/Pd Multilayers with Perpendicular Anisotropy, Journal of the Korean Physical Society, 2 0 1 4 年 7 月, Vol. 65, No. 1, pp. 65 - 69

Sol JUNG et al., Amorphous Ferromagnetic CoSiB/Pd Multilayer with Perpendicular Magnetic Anisotropy, Journal of the Korean Physical Society, 2 0 1 3 年 1 月, Vol. 62, No. 1, pp. L10 - L13

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 9, 2 7 / 1 0 5, 2 9 / 8 2,
4 3 / 0 8, 4 3 / 1 0, 4 3 / 1 2

G 1 1 B 5 / 3 9

H 0 1 F 1 0 / 1 6, 1 0 / 3 2

J S T P l u s / J M E D P l u s / J S T 7 5 8 0 (J D r e a m I I I)