

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017 年 6 月 1 日(01.06.2017)



(10) 国際公開番号

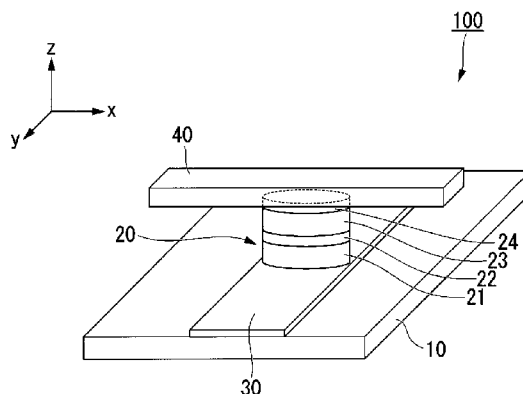
WO 2017/090736 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
G11B 5/39 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01) H03B 15/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/084995
- (22) 国際出願日: 2016 年 11 月 25 日(25.11.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-232334 2015 年 11 月 27 日(27.11.2015) JP
特願 2016-053072 2016 年 3 月 16 日(16.03.2016) JP
特願 2016-056058 2016 年 3 月 18 日(18.03.2016) JP
特願 2016-210531 2016 年 10 月 27 日(27.10.2016) JP
特願 2016-210533 2016 年 10 月 27 日(27.10.2016) JP
- (71) 出願人: TDK 株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目 9 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 佐々木 智生(SASAKI Tomoyuki); 〒1080023 東京都港区芝浦三丁目 9 番 1 号 TDK 株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 棚井 澄雄, 外(TANAI Sumio et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: SPIN CURRENT MAGNETIZATION REVERSAL-TYPE MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT AND METHOD FOR PRODUCING SPIN CURRENT MAGNETIZATION REVERSAL-TYPE MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT

(54) 発明の名称: スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子及びスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法



(57) Abstract: This spin current magnetization reversal-type magnetoresistive effect element is provided with: a magnetoresistive effect element comprising a substrate and, in order from the substrate side, a first strongly magnetic metal layer in which the orientation of magnetization is fixed, a non-magnetic layer, a second strongly magnetic metal layer in which the orientation of magnetization is variable, and a cap layer; and spin orbital torque wiring that extends in a direction intersecting the layering direction of the magnetoresistive effect element and that is joined to the cap layer. The cap layer mainly comprises one or more substances that have high spin conductivity and that are selected from the group consisting of Cu, Ag, Mg, Al, Si, Ge, and GaAs.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/090736 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

このスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子は、基板と、前記基板側から順に磁化の向きが固定された第 1 強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第 2 強磁性金属層と、キャップ層と、を有する磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子の積層方向に対して交差する方向に延在し、前記キャップ層に接合するスピン軌道トルク配線と、を備え、前記キャップ層は、Cu、Ag、Mg、Al、Si、Ge、GaAs からなる群からなる選択されるいずれか一つ以上のスピン伝導性の高い物質を主として有する。

明 細 書

発明の名称：

スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子及びスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子及びスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法に関する。本願は、2015年11月27日に日本に出願された特願2015-232334号、2016年3月16日に日本に出願された特願2016-053072号、2016年3月18日に日本に出願された特願2016-056058号、2016年10月27日に日本に出願された特願2016-210531号、2016年10月27日に日本に出願された特願2016-210533号、に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 強磁性層と非磁性層の多層膜からなる巨大磁気抵抗（GMR）素子及び非磁性層として絶縁層（トンネルバリア層、バリア層）を用いたトンネル磁気抵抗（TMR）素子が知られている。一般に、TMR素子はGMR素子と比較して素子抵抗が高いものの、TMR素子の磁気抵抗（MR）比はGMR素子のMR比より大きい。そのため、磁気センサ、高周波部品、磁気ヘッド及び不揮発性ランダムアクセスメモリ（MRAM）用の素子として、TMR素子に注目が集まっている。

[0003] MRAMの書き込み方式としては、電流が作る磁場を利用して書き込み（磁化反転）を行う方式や磁気抵抗素子の積層方向に電流を流して生ずるスピントランスファートルク（STT）を利用して書き込み（磁化反転）を行う方式が知られている。

[0004] 磁場を利用する方式は、細い配線に流す電流量には限界があるため、素子サイズが小さくなると書き込みができなくなるという問題がある。

- [0005] これに対して、スピントランスファートルク（S T T）を利用する方式は、一方の強磁性層（固定層、参照層）が電流をスピン分極させ、その電流のスピンがもう一方の強磁性層（自由層、記録層）の磁化に移行され、その際に生じるトルク（S T T）によって書き込み（磁化反転）が行われる。そのため、素子サイズが小さくなるほど書き込みに必要な電流が小さくて済むという利点がある。
- [0006] しかしながら、S T Tを用いた磁気抵抗効果素子は、磁化反転をさせるための反転電流を磁気抵抗効果素子の積層方向に流す必要がある。積層方向に流れる電流は、磁気抵抗効果素子の寿命に悪影響を及ぼす。
- [0007] そこで近年、純スピン流により誘起されたスピン軌道相互作用を利用した磁化反転が応用上可能であると提唱されている（例えば、非特許文献1）。
- [0008] スピン軌道相互作用した磁気抵抗効果素子は、純スピン流によりスピン軌道トルク（S O T）を誘起し、S O Tにより磁化反転を起こす。純スピン流は、上向きスピンの電子と下向きスピン電子とが同数で互いに逆向きに流れることで生み出される。全体としての電荷の流れは相殺されているため、純スピン流が流れても、電流量はゼロである。
- [0009] 純スピン流は、電流の流れ方向と直交する方向に流れる。そのため、S O Tを利用した磁気抵抗効果素子において、磁化反転を起こすための反転電流は、磁気抵抗効果素子の積層方向と交差する方向に流れる。
- [0010] つまり、S O Tを利用した磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効果素子の積層方向に電流を流す必要がなく、長寿命化が期待されている。

先行技術文献

非特許文献

- [0011] 非特許文献1：I. M. Miron, K. Garello, G. Gaudin, P. -J. Zermatten, M. V. Costache, S. Auffret, S. Bandiera, B. Rodmacq, A. Schuhl, and P. Gambardella, Nature, 476, 189 (2011) .

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] SOTを用いた磁気抵抗効果素子は、まだ検討が始まったばかりである。そのため、明確な構成は決定していないが、自由層を基板側に設けるトップピン構造が広く用いられている。
- [0013] 純スピン流により誘起されるSOTは積層される層の界面の影響を大きく受ける。大きなSOTを得るためには界面は均一であることが求められる。一般に積層体において、基板に近い層ほど積層される各層の影響が少なく均質となる。そこで、純スピン流を効率よく自由層に供給するために、トップピン構造が採用されている。
- [0014] 一方で、STTを用いた磁気抵抗効果素子では、ボトムピン構造も広く採用されている。固定層が基板側にあることで磁化が安定し、ノイズの発生が抑制されるためである。
- [0015] このボトムピン構造は、SOTを用いた磁気抵抗効果素子にも原理的には適用可能である。しかしながら、実際にSOTを用いた磁気抵抗効果素子にボトムピン構造を適用しようとすると、積層界面が乱れ、自由層に効率的に純スピン流を供給できないという問題がある。
- [0016] 本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、純スピン流により誘起されるSOTを効率的に利用できる磁気抵抗効果素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0017] (1) 第1の態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子は、基板と、前記基板上に設けられ、前記基板側から順に磁化の向きが固定された第1強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第2強磁性金属層と、キャップ層と、を有する磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子の積層方向に対して交差する方向に延在し、前記キャップ層に接合するスピン軌道トルク配線と、を備え、前記キャップ層は、Cu、Ag、Mg、Al、Si、Ge、GaAsからなる群から選択されるいずれか一つ以上のスピン伝導性

の高い物質を主として有する。

- [0018] (2) 上記態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子において、前記キャップ層の厚みが、前記キャップ層の主成分を構成する物質のスピン拡散長以下であってもよい。
- [0019] (3) 第2の態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子は、磁化の向きが固定された第1強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第2強磁性金属層と、キャップ層と、を順に有する磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子の積層方向に対して交差する方向に延在し、前記キャップ層に接合するスピン軌道トルク配線と、を備え、前記キャップ層は、スピン伝導性を有し、前記磁気抵抗効果素子は前記第2強磁性金属層と前記キャップ層との間に拡散防止層をさらに有する。
- [0020] (4) 上記態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子において、前記拡散防止層は、磁性元素又はイットリウム以上の原子番号を有する元素から選ばれる少なくとも一つを有してもよい。
- [0021] (5) 上記態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子において、前記拡散防止層の厚みは、前記拡散防止層を構成する原子の原子半径の4倍以下であってもよい。
- [0022] (6) 上記態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子において、前記スピン軌道トルク配線は、最外殻にd電子又はf電子を有する原子番号39以上の非磁性金属を含んでもよい。
- [0023] (7) 上記態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子において、前記スピン軌道トルク配線は、純スピン流を生成する材料からなる純スピン流生成部と、該純スピン流生成部よりも電気抵抗が小さい材料からなる低抵抗部とからなり、該純スピン流生成部の少なくとも一部が前記キャップ層と接していてもよい。
- [0024] (8) 第3の態様にかかる磁気メモリは、上述のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を含む。
- [0025] (9) 第4の態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法

は、基板上に、磁化の向きが固定された第1強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第2強磁性金属層と、キャップ層と、プロセス保護層とを順に積層した積層体を形成する工程と、前記積層体を所定の形状に加工し、磁気抵抗効果素子を形成する工程と、前記プロセス保護層を除去し、除去後に露出した露出面上にスピン軌道トルク配線を形成する工程と、を有する。

発明の効果

[0026] 上記態様にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子によれば、純スピン流により誘起されるSOTを効率的に利用できる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]第1実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を模式的に示した斜視図である。

[図2]スピンホール効果について説明するための模式図である。

[図3]スピン軌道トルク配線の一実施形態を説明するための模式図であり、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

[図4]スピン軌道トルク配線の他の実施形態を説明するための模式図であり、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

[図5]スピン軌道トルク配線の他の実施形態を説明するための模式図であり、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

[図6]スピン軌道トルク配線の他の実施形態を説明するための模式図であり、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

[図7]第2実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を模式的に示した斜視図である。

[図8]本実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法を示した図である。

[図9]本実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子をx-z平面で切断した断面模式図である。

[図10]本実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の別の例をx

z 平面で切断した断面模式図である。

[図11]本実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を電源も含めて模式的に示した斜視図である。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本実施形態について、図を適宜参照しながら詳細に説明する。以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、本発明の効果を奏する範囲で適宜変更して実施することが可能である。

[0029] (スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子)

「第1実施形態」

図1は、第1実施形態にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を模式的に示した斜視図である。

[0030] 図1に示すように、スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子100は、基板10と、磁気抵抗効果素子20と、スピン軌道トルク配線40とを有する。図1では、磁気抵抗効果素子20の積層方向に電流を流すための配線30も示している。スピン軌道トルク配線40は、磁気抵抗効果素子20に接合し、磁気抵抗効果素子20の積層方向に対して交差する方向に延在している。

[0031] 以下では、スピン軌道トルク配線が磁気抵抗効果素子の積層方向に対して交差する方向に延在する構成の例として、直交する方向に延在する構成の場合について説明する。

[0032] 以下、磁気抵抗効果素子20の積層方向をz方向、z方向と垂直でスピン軌道トルク配線40と平行な方向をx方向、x方向及びz方向と直交する方向をy方向とする。

[0033] <基板>

基板10は、平坦性に優れることが好ましい。平坦性に優れた表面を得るために、材料として例えば、Si、Ge、GaAs、InGaAsの半導体

やA l T i C等を用いることができる。また、基板10はS i、G e、G a A s、 I n G a A sの半導体やA l T i C等の材料の上に回路を有しても良い。

[0034] <磁気抵抗効果素子>

磁気抵抗効果素子20は、基板10側から順に、第1強磁性金属層21と、非磁性層22と、第2強磁性金属層23と、キャップ層24とを有する。

[0035] 第1強磁性金属層21の磁化は一方向に固定され、第2強磁性金属層23の磁化の向きが第1強磁性金属層21の磁化に対して相対的に変化することで、磁気抵抗効果素子20として機能する。保磁力差型（擬似スピバルブ型；Pseudo spin valve 型）のMRAMに適用する場合には、第1強磁性金属層21の保磁力は第2強磁性金属層23の保磁力よりも大きい。また、交換バイアス型（スピバルブ；spin valve型）のMRAMに適用する場合には、第1強磁性金属層21は反強磁性層との交換結合によって磁化の向きが固定される。

[0036] 磁気抵抗効果素子20は、非磁性層22が絶縁体からなる場合は、トンネル磁気抵抗（TMR：Tunneling Magnetoresistance）素子であり、非磁性層22が金属からなる場合は巨大磁気抵抗（GMR：Giant Magnetoresistance）素子である。

[0037] 実施形態にかかる磁気抵抗効果素子は、公知の磁気抵抗効果素子の構成を用いることができる。例えば、各層は複数の層からなるものでもよいし、第1強磁性金属層の磁化の向きを固定するための反強磁性層等の他の層を備えてもよい。第1強磁性金属層21は固定層や参照層、第2強磁性金属層23は自由層や記憶層などと呼ばれる。

[0038] 第1強磁性金属層21は、第2強磁性金属層23より基板10側に配設される。基板10側に固定層である第1強磁性金属層21を配設すると、第1強磁性金属層21の磁化が安定する。第1強磁性金属層21の磁化が安定すると、MR比のバックグラウンドが揺らぐことが抑制され、磁気抵抗効果素子20のノイズが低減する。

[0039] 第1強磁性金属層21及び第2強磁性金属層23は、磁化方向が層に平行な面内方向である面内磁化膜でも、磁化方向が層に対して垂直方向である垂直磁化膜でもいずれでもよい。

[0040] 第1強磁性金属層21の材料には、公知のものを用いることができる。例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属及びこれらの金属を1種以上含み強磁性を示す合金を用いることができる。またこれらの金属と、B、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とを含む合金を用いることもできる。具体的には、Co-FeやCo-Fe-Bが挙げられる。

[0041] また、より高い出力を得るためには、第1強磁性金属層21の材料として Co_2FeSi などのホイスラー合金を用いることが好ましい。ホイスラー合金は、 X_2YZ の化学組成をもつ金属間化合物を含み、Xは周期表上でCo、Fe、Ni、あるいはCu族の遷移金属元素または貴金属元素である。YはMn、V、CrあるいはTi族の遷移金属でありXの元素種をとることもできる。ZはIII族からV族の典型元素である。例えば、 Co_2FeSi 、 Co_2MnSi や $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-a}\text{Fe}_a\text{Al}_b\text{Si}_{1-b}$ などがホイスラー合金として挙げられる。

[0042] また第1強磁性金属層21の第2強磁性金属層23と反対側の面には、IrMn、PtMnなどの反強磁性材料を接触させてもよい。第1強磁性金属層21の第2強磁性金属層23に対する保磁力をより大きくできる。また第1強磁性金属層21の漏れ磁場を第2強磁性金属層23に影響させないようにするため、磁気抵抗効果素子20をシンセティック強磁性結合の構造としてもよい。

[0043] 第1強磁性金属層21の磁化の向きを積層面に対して垂直にする場合には、CoとPtの積層膜を用いることが好ましい。具体的には、第1強磁性金属層21は $[\text{Co} (0.24 \text{ nm}) / \text{Pt} (0.16 \text{ nm})]_6 / \text{Ru} (0.9 \text{ nm}) / [\text{Pt} (0.16 \text{ nm}) / \text{Co} (0.16 \text{ nm})]_4 / \text{Ta} (0.2 \text{ nm}) / \text{FeB} (1.0 \text{ nm})$ とする。

[0044] 第2強磁性金属層23には、強磁性材料、特に軟磁性材料を適用できる。

例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属、これらの金属を1種以上含む合金、これらの金属とB、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とが含まれる合金等を用いることができる。具体的には、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Feが挙げられる。

[0045] 第2強磁性金属層23の磁化の向きを積層面に対して垂直にする場合には、第2強磁性金属層の厚みを2.5nm以下とすることが好ましい。第2強磁性金属層23と非磁性層22の界面で、第2強磁性金属層23に垂直磁気異方性を付加できる。第2強磁性金属層23の膜厚は薄い方が好ましい。垂直磁気異方性は第2強磁性金属層23の膜厚を厚くすることによって効果が減衰する。

[0046] 非磁性層22には、公知の材料を用いることができる。

例えば、非磁性層22が絶縁体からなる場合（トンネルバリア層である場合）、その材料としては、 Al_2O_3 、 SiO_2 、Mg、及び、 $MgAl_2O_4$ 等を用いることができる。またこれらの他にも、Al、Si、Mgの一部が、Zn、Be等に置換された材料等もトンネルバリア層として用いることができる。これらの中でも、MgOや $MgAl_2O_4$ はコヒーレントトンネルが実現できる材料であり、スピンを効率よく第2強磁性金属層23に注入できる。

[0047] 非磁性層22が金属からなる場合、その材料としては、Cu、Au、Ag等を用いることができる。

[0048] キャップ層24は、第2強磁性金属層23とスピン軌道トルク配線40を繋ぐ層である。後述する製造方法において詳細を記載するが、キャップ層24は製造過程で研磨可能な層である。そのため、第2強磁性金属層23上にキャップ層24を設けることで、スピン軌道トルク配線40が積層される面を平坦化できる。

[0049] 純スピン流に伴うSOTは、積層面の界面の影響を大きく受ける。キャップ層24とスピン軌道トルク配線40の界面を平坦化することで、純スピン流

を第2強磁性金属層23に効率的に供給することができ、大きなSOTを得ることができる。

[0050] 一方、スピン軌道トルク配線40で発生した純スピン流は、第2強磁性金属層23に至るまでにキャップ層24を通過する。キャップ層24は、界面の平坦化に必要な層であるが、キャップ層24が通過するスピンを拡散すると、十分な純スピン流を第2強磁性金属層23に供給できない。

[0051] そこで、キャップ層24はスピン軌道トルク配線40から伝播するスピンを散逸しにくいことが求められる。すなわち、キャップ層24は、スピン伝導性を有していることが求められ、スピン伝導性の高い物質を主として有することが好ましい。

[0052] 銅、銀、マグネシウム、アルミニウム、シリコン、ゲルマニウム、ガリウムヒ素等は、スピン拡散長が室温でも100nm以上と長く、スピンの散逸しにくい。そのため、キャップ層24は、これらの材料からなる群から選択されるいずれか一つ以上の元素を主として有することが好ましい。

[0053] キャップ層24の厚みは、キャップ層24を構成する物質のスピン拡散長以下であることが好ましい。キャップ層24の厚みがスピン拡散長以下であれば、スピン軌道トルク配線40から伝播するスピンを磁気抵抗効果素子20に十分伝えることができる。

[0054] またキャップ層24は、磁気抵抗効果素子20の各層の結晶配向性にも寄与する。キャップ層24は、磁気抵抗効果素子20の第1強磁性金属層21及び第2強磁性金属層23の磁性を安定化し、磁気抵抗効果素子20の低抵抗化に寄与する。

[0055] <スピン軌道トルク配線>

スピン軌道トルク配線40は、磁気抵抗効果素子20の積層方向に対して交差する方向に延在する。スピン軌道トルク配線40には、スピン軌道トルク配線40に沿って電流を流すための電源が電氣的に接続されている。スピン軌道トルク配線40と電源とで、磁気抵抗効果素子に純スピン流を注入するスピン注入手段として機能する。

- [0056] スピン軌道トルク配線40は、電流が流れるとスピンホール効果によって純スピン流が生成される材料からなる。かかる材料としては、スピン軌道トルク配線40中に純スピン流が生成される構成のものであれば足りる。従って、単体の元素からなる材料に限らないし、純スピン流が生成される材料で構成される部分と純スピン流が生成されない材料で構成される部分とからなるもの等であってもよい。
- [0057] スピンホール効果とは、材料に電流を流した場合にスピン軌道相互作用に基づき、電流の向きに直交する方向に純スピン流が誘起される現象である。
- [0058] 図2は、スピンホール効果について説明するための模式図である。図2に基づいてスピンホール効果により純スピン流が生み出されるメカニズムを説明する。
- [0059] 図2に示すように、スピン軌道トルク配線40の延在方向に電流Iを流すと、第1スピンS1と第2スピンS2はそれぞれ電流と直交する方向に曲げられる。通常のホール効果とスピンホール効果とは運動（移動）する電荷（電子）が運動（移動）方向を曲げられる点で共通する。一方で、通常のホール効果は磁場中で運動する荷電粒子がローレンツ力を受けて運動方向を曲げられるのに対して、スピンホール効果では磁場が存在しないのに電子が移動するだけ（電流が流れるだけ）で移動方向が曲げられる点で大きく異なる。
- [0060] 非磁性体（強磁性体ではない材料）は第1スピンS1の電子数と第2スピンS2の電子数とが等しいので、図中で上方向に向かう第1スピンS1の電子数と下方向に向かう第2スピンS2の電子数は等しい。そのため、電荷の正味の流れとしての電流はゼロである。この電流を伴わないスピン流は特に純スピン流と呼ばれる。
- [0061] これに対して、強磁性体中に電流を流した場合にも第1スピン電子と第2スピン電子が互いに反対方向に曲げられる点は同じである。しかしながら、強磁性体中では第1スピン電子と第2スピン電子のいずれかが多い状態であるため、結果として電荷の正味の流れが生じてしまう（電圧が発生してしまう）。従って、スピン軌道トルク配線の材料としては、強磁性体だけからなる

材料は含まれない。

[0062] ここで、第1スピン S_1 の電子の流れを $J_{\uparrow}$ 、第2スピン S_2 の電子の流れを $J_{\downarrow}$ 、スピン流を J_s と表すと、 $J_s = J_{\uparrow} - J_{\downarrow}$ で定義される。図2においては、純スピン流として J_s が図中の上方向に流れる。ここで、 J_s は分極率が100%の電子の流れである。

[0063] 図2において、スピン軌道トルク配線40の上面に強磁性体を接触させると、純スピン流は強磁性体中に拡散して流れ込む。本実施形態では、スピン軌道トルク配線40に電流を流して生成された純スピン流は、キャップ層24を介して第2強磁性金属層23に拡散する。自由層である第2強磁性金属層23の磁化は、純スピン流によるスピン軌道トルク（SOT）効果で磁化反転する。

[0064] 磁化反転は、SOTのみの効果を利用して行う必要はない。例えば、SOTと共にSTTの効果を利用して磁化反転を行ってもよい。またこの他、SOTと共に、外部磁場、熱、電圧、格子歪等を利用してよい。

[0065] スピン軌道トルク配線40は、非磁性の重金属を含んでもよい。ここで、重金属とは、イットリウム以上の比重を有する金属の意味で用いている。スピン軌道トルク配線40は、非磁性の重金属だけからなってもよい。

[0066] この場合、非磁性の重金属は最外殻にd電子又はf電子を有する原子番号39以上の原子番号が大きい非磁性金属であることが好ましい。非磁性金属は、スピンホール効果を生じさせるスピン軌道相互作用が大きい。スピン軌道トルク配線40は、最外殻にd電子又はf電子を有する原子番号39以上の原子番号が大きい非磁性金属だけからなってもよい。

[0067] 通常、金属に電流を流すとすべての電子はそのスピンの向きに関わりなく、電流とは逆向きに動く。これに対して、最外殻にd電子又はf電子を有する原子番号が大きい非磁性金属は、スピン軌道相互作用が大きいためにスピンホール効果によって電子の動く方向が電子のスピンの向きに依存し、純スピン流 J_s を発生しやすい。

[0068] スピン軌道トルク配線40は、磁性金属を含んでもよい。磁性金属とは、強

磁性金属、あるいは、反強磁性金属を指す。非磁性金属に微量な磁性金属が含まれるとスピン軌道相互作用が増強され、スピン軌道トルク配線40に流す電流に対するスピン流生成効率が高くなる。スピン軌道トルク配線40は、反強磁性金属だけからなってもよい。

[0069] スピン軌道相互作用はスピン軌道トルク配線材料の物質の固有の内場によって生じるため、非磁性材料でも純スピン流が生じる。スピン軌道トルク配線材料に微量の磁性金属を添加すると、磁性金属自体が流れる電子スピンを散乱するためにスピン流生成効率が向上する。

[0070] ただし、磁性金属の添加量が増大し過ぎると、発生した純スピン流が添加された磁性金属によって散乱され、結果としてスピン流が減少する作用が強くなる。したがって、添加される磁性金属のモル比はスピン軌道トルク配線における純スピン生成部の主成分のモル比よりも十分小さい方が好ましい。目安で言えば、添加される磁性金属のモル比は3%以下であることが好ましい。

[0071] スピン軌道トルク配線40は、トポロジカル絶縁体を含んでもよい。スピン軌道トルク配線40は、トポロジカル絶縁体だけからなってもよい。トポロジカル絶縁体とは、物質内部が絶縁体または高抵抗体であるが、その表面にスピン偏極した金属状態が生じている物質である。

[0072] 物質にはスピン軌道相互作用という内部磁場のようなものがある。このスピン軌道相互作用の効果で、外部磁場が無くても新たなトポロジカル相が発現する。これがトポロジカル絶縁体であり、強いスピン軌道相互作用とエッジにおける反転対称性の破れにより純スピン流を高効率で生成できる。

[0073] トポロジカル絶縁体としては例えば、 SnTe 、 $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_{1.7}\text{Se}_{1.3}$ 、 TlBiSe_2 、 Bi_2Te_3 、 $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ などが好ましい。これらのトポロジカル絶縁体は、高効率でスピン流を生成することが可能である。

[0074] 図3～図6は、スピン軌道トルク配線の実施形態を説明するための模式図であり、それぞれ、(a)は断面図であり、(b)は平面図である。

- [0075] 純スピン流を生成しうる材料である重金属は、通常の配線として用いられる金属に比べて電気抵抗が大きい。そのため、ジュール熱を低減する観点では、スピン軌道トルク配線40のすべてが純スピン流を生成しうる材料により構成されているよりも、電気抵抗が小さい部分を有することが好ましい。すなわち、スピン軌道トルク配線40は純スピン流を生成する材料からなる部分（スピン流生成部）と、このスピン流生成部よりも電気抵抗が小さい材料からなる部分（低抵抗部）とからなるのが好ましい。
- [0076] スピン流生成部は、純スピン流を生成しうる材料からなっていればよく、例えば、複数種類の材料部分からなる構成等であってもよい。
- [0077] 低抵抗部は、通常の配線として用いられる材料を用いることができる。例えば、アルミニウム、銀、銅、金等を用いることができる。低抵抗部は、スピン流生成部よりも電気抵抗が小さい材料からなっていればよく、例えば、複数種類の材料部分からなる構成等であってもよい。
- [0078] なお、低抵抗部は、純スピン流を生成しないものに限られるわけではなく、純スピン流を生成しても構わない。この場合、スピン流生成部と低抵抗部との区別は、本明細書中にスピン流生成部及び低抵抗部の材料として記載したものからなる部分はスピン流生成部または低抵抗部であるとして区別できる。また、純スピン流を生成する主要部以外の部分であって、その主要部より電気抵抗が小さい部分は低抵抗部として、スピン流生成部と区別できる。
- [0079] スピン流生成部は、非磁性の重金属を含んでもよい。純スピン流を生成しうる重金属は、有限に含まれていればよい。スピン流生成部の材料構成としては以下の2つのいずれかであることが好ましい。一つは、スピン流生成部の主成分を純スピン流を生成しうる重金属が占める場合であり、もう一つは、純スピン流を生成しうる重金属が、スピン流生成部の主成分よりも十分少ない濃度領域を占める場合である。
- [0080] 純スピン流を生成しうる重金属がスピン流生成部の主成分を占める場合、その比率は、90%以上であることが好ましく、100%であることが好ましい。この場合の重金属は、最外殻にd電子又はf電子を有する原子番号39

以上の非磁性金属である。

[0081] 一方、スピン流生成部の主成分よりも純スピン流を生成しうる重金属の占める濃度が十分少ない場合の一例としては、スピン流生成部の主成分が銅であり、重金属がモル比で10%以下の濃度で含まれている場合が挙げられる。

[0082] このように純スピン流を生成しうる重金属が、スピン流生成部の主成分よりも十分少ない濃度領域を占める場合、スピン流生成部に含まれる重金属の濃度はモル比で50%以下であることが好ましく、10%以下であることがさらに好ましい。重金属の濃度範囲が当該範囲内であれば、電子によるスピン散乱の効果が有効に得られる。

[0083] ここで、純スピン流を生成しうる重金属がスピン流生成部の主成分よりも十分少ない濃度領域を占める場合は、スピン流生成部を構成する主成分は上述の重金属以外からなる。すなわち、スピン流生成部を構成する主となる部分が重金属よりも原子番号が小さい軽金属であり、その他の部分が重金属である。

[0084] ここで想定しているのは、重金属と軽金属とが合金を形成しているのではなく、軽金属中に重金属の原子が無秩序に分散している態様である。スピン軌道相互作用は、軽金属中では弱く、主成分たる軽金属中ではスピンホール効果による純スピン流は生成されにくい。しかしながら、軽金属中に重金属が含まれると、電子が軽金属中の重金属を通過する際に、軽金属と重金属の界面でスピンの散乱される。その結果、重金属の濃度が低い場合でも純スピン流を効率よく発生させることが可能である。

[0085] 一方で、重金属の濃度が50%を超えると、重金属中のスピンホール効果の割合は大きくなるが、軽金属と重金属の界面の効果が低下するため総合的な効果が減少する。したがって、十分な界面の効果が期待できる程度の重金属の濃度が好ましい。

[0086] またスピン流生成部は反強磁性金属からなるものとすることができる。この場合は、上述のスピン軌道トルク配線40が磁性金属を含む場合の一例である。スピン流生成部が反強磁性金属からなる場合は、最外殻にd電子又はf

電子を有する原子番号39以上の非磁性重金属が100%の場合と同等の効果を得ることができる。反強磁性金属は、例えば、IrMnやPtMnが好ましく、熱に対して安定なIrMnがより好ましい。

[0087] またスピン流生成部はトポロジカル絶縁体からなるものとすることができる。この場合は、上述のスピン軌道トルク配線がトポロジカル絶縁体を含む場合の一例である。トポロジカル絶縁体としては例えば、 SnTe , $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_{1.7}\text{Se}_{1.3}$, TlBiSe_2 , Bi_2Te_3 , $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ などが好ましい。これらのトポロジカル絶縁体は高効率でスピン流を生成できる。

[0088] スピン軌道トルク配線で生成された純スピン流が実効的に磁気抵抗効果素子に拡散していくためにはスピン流生成部の少なくとも一部が磁気抵抗効果素子20に接触している必要がある。図3～図6に示すスピン軌道トルク配線の実施形態はすべて、スピン流生成部が少なくとも一部でキャップ層24に接触した構成である。

[0089] 図3に示すスピン軌道トルク配線40は、キャップ層24との接合部40'がすべてスピン流生成部41からなり、スピン流生成部41は低抵抗部42A、42Bに挟まれている。

[0090] ここで、スピン流生成部と低抵抗部とが電氣的に並列に配置する場合には、スピン軌道トルク配線に流れる電流はスピン流生成部及び低抵抗部の抵抗の大きさの逆比の割合に分かれてそれぞれの部分を流れることになる。

[0091] 純スピン流生成効率の観点からは、スピン軌道トルク配線に流れる電流がすべてスピン流生成部を流れるようにすることが好ましい。すなわち、スピン流生成部と低抵抗部とが電氣的に並列に配置する部分がなく、すべて電氣的に直列に配置するようにすることが好ましい。

[0092] 図3～図6に示すスピン軌道トルク配線は、磁気抵抗効果素子の積層方向からの平面視で、スピン流生成部と低抵抗部とが電氣的に並列に配置する部分がない構成である。これらの構成は、純スピン流生成効率を高くできる。

[0093] 図3に示すスピン軌道トルク配線40は、スピン流生成部41が、磁気抵

抗効果素子 20 の積層方向からの平面視において、キャップ層 24 との接合部 24' を含むように重畳している。スピン軌道トルク配線 40 の厚さ方向は、スピン流生成部 41 だけからなり、低抵抗部 42 A、42 B は、このスピン流生成部 41 を電流の流れる方向に挟んでいる。図 3 に示すスピン軌道トルク配線の変形例としては、スピン流生成部 41 が、磁気抵抗効果素子 20 の積層方向からの平面視において、キャップ層 24 の接合部 24' と重なるように重畳している場合がある。この変形例において当該部分以外の構成は、図 3 に示すスピン軌道トルク配線と同じである。

[0094] 図 4 に示すスピン軌道トルク配線 40 は、スピン流生成部 41 が、磁気抵抗効果素子 20 の積層方向から平面視において、キャップ層 24 の接合部 24' の一部と重畳している。スピン軌道トルク配線 40 の厚さ方向は、スピン流生成部 41 だけからなり、低抵抗部 42 A、42 B は、このスピン流生成部 41 を電流の流れる方向に挟んでいる。

[0095] 図 5 に示すスピン軌道トルク配線 40 は、スピン流生成部 41 が、磁気抵抗効果素子 20 の積層方向から平面視において、キャップ層 24 の接合部 24' を含むように重畳している。スピン軌道トルク配線 40 の厚さ方向は、磁気抵抗効果素子 20 側からスピン流生成部 41 と低抵抗部 42 C が順に積層している。スピン流生成部 41 及び低抵抗部 42 C が積層する部分は、電流の流れる方向に低抵抗部 42 A、42 B により挟まれている。図 5 に示すスピン軌道トルク配線の変形例としては、スピン流生成部 41 が磁気抵抗効果素子 20 の積層方向からの平面視において、キャップ層 24 の接合部 24' に重なるように重畳している場合がある。この変形例において当該部分以外の構成は、図 5 に示すスピン軌道トルク配線と同じである。

[0096] 図 6 に示すスピン軌道トルク配線 40 は、スピン流生成部 41 が第 1 スピン流生成部 41 A と第 2 スピン流生成部 41 B とを有する。第 1 スピン流生成部 41 A は、スピン流生成部 41 の磁気抵抗効果素子 20 側の一面全体に形成された部分である。第 2 スピン流生成部 41 B は、第 1 スピン流生成部 41 A 上に積層された部分であって、磁気抵抗効果素子 20 の積層方向から平

面視してキャップ層 2 4 の接合部 2 4' を含むように重畳する部分である。
第 2 スピン流生成部 4 1 B は、電流の流れる方向に低抵抗部 4 2 A、4 2 B に挟まれている。

[0097] 図 6 に示すスピン軌道トルク配線の変形例として、第 2 スピン流生成部 4 1 B が磁気抵抗効果素子 2 0 の積層方向からの平面視において、キャップ層 2 4 の接合部 2 4' に重なるように重畳している場合がある。この変形例において当該部分以外の構成は、図 6 に示すスピン軌道トルク配線と同じである。図 6 に示す構成では、スピン流生成部 4 1 と低抵抗部 4 2 とが接する面積が広いため、スピン流生成部 4 1 と低抵抗部 4 2 との密着性が高い。

[0098] 図 3 ～図 6 では、スピン軌道トルク配線 4 0 の厚み及び y 方向の幅は、電流の流れ方向に一定として図示している。しかしながら、スピン軌道トルク配線 4 0 の形状は当該構成に限られない。例えば、磁気抵抗効果素子 2 0 と積層方向からの平面視で重なる部分において、スピン軌道トルク配線 4 0 を狭窄してもよい。スピン軌道トルク配線 4 0 を流れる電流は、狭窄した部分で集中する。すなわち、スピン流生成部 4 1 に供給される電流効率を高め、純スピン流の発生効率を高めることができる。

[0099] また図 3 ～図 6 では、スピン流生成部 4 1 の x 方向（電流の流れ方向）の幅は、スピン軌道トルク配線 4 0 の厚み方向で原則一定である。しかしながら、スピン流生成部 4 1 の形状は当該構成に限られない。例えば、スピン流生成部 4 1 の x 方向の幅が、磁気抵抗効果素子 2 0 に向かって縮径する構成としてもよい。スピン流生成部 4 1 は、低抵抗部 4 2 A、4 2 B より抵抗が大きい。そのため、スピン軌道トルク配線 4 0 を流れる電流の一部は、スピン流生成部 4 1 と低抵抗部 4 2 A、4 2 B の界面に沿って流れる。その結果、磁気抵抗効果素子 2 0 とスピン軌道トルク配線 4 0 の界面に多くの電流を供給することができ、純スピン流の第 2 強磁性金属層 2 3 への供給効率をより高めることができる。

[0100] <下地層>

基板 1 0 の磁気抵抗効果素子 2 0 側の面には、下地層（図示略）が形成され

ていてもよい。下地層を設けると、基板 10 上に積層される第 1 強磁性金属層 21 を含む各層の結晶配向性、結晶粒径等の結晶性を制御することができる。

[0101] 下地層は、絶縁性を有していることが好ましい。配線 30 等には流れる電流が散逸しないようにするためである。下地層には、種々のものを用いることができる。

[0102] 例えば 1 つの例として、下地層には (001) 配向した NaCl 構造を有し、Ti, Zr, Nb, V, Hf, Ta, Mo, W, B, Al, Ce からなる群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む窒化物の層を用いることができる。

[0103] 他の例として、下地層には ABO_3 の組成式で表される (002) 配向したペロブスカイト系導電性酸化物の層を用いることができる。ここで、サイト A は Sr, Ce, Dy, La, K, Ca, Na, Pb, Ba からなる群から選択された少なくとも 1 つの元素を含み、サイト B は Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ga, Nb, Mo, Ru, Ir, Ta, Ce, Pb からなる群から選択された少なくとも 1 つの元素を含む。

[0104] 他の例として、下地層には (001) 配向した NaCl 構造を有し、かつ Mg, Al, Ce からなる群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む酸化物の層を用いることができる。

[0105] 他の例として、下地層には (001) 配向した正方晶構造または立方晶構造を有し、かつ Al, Cr, Fe, Co, Rh, Pd, Ag, Ir, Pt, Au, Mo, W のからなる群から選択される少なくとも 1 つの元素を含む層を用いることができる。

[0106] 下地層は一層に限られず、上述の例の層を複数層積層してもよい。下地層の構成を工夫することにより磁気抵抗効果素子 20 の各層の結晶性を高め、磁気特性の改善が可能となる。

[0107] <配線>

配線 30 は、磁気抵抗効果素子 20 の第 1 強磁性金属層 21 に電氣的に接続

される。第2強磁性金属層23の磁化をSOTのみを利用して磁化反転させる場合は、配線30は不要である。一方で、SOTに加えてSTTを利用する場合は、磁気抵抗効果素子20の積層方向に電流を流す必要があり、配線30が必要になる。

[0108] 配線30は、導電性の高い材料であれば特に問わない。例えば、アルミニウム、銀、銅、金等を用いることができる。

[0109] 「第2実施形態」

図7は、第2実施形態にかかるスピンの流磁化反転型磁気抵抗効果素子の斜視模式図である。第2実施形態にかかるスピンの流磁化反転型磁気抵抗効果素子101は、拡散防止層26を有する点が、第1実施形態にかかるスピンの流磁化反転型磁気抵抗効果素子100と異なる。その他の構成は、第1実施形態にかかるスピンの流磁化反転型磁気抵抗効果素子100と同一であり、同一の符号を付している。

[0110] 第2実施形態にかかるスピンの流磁化反転型磁気抵抗効果素子101は、磁気抵抗効果素子25と、スピンの軌道トルク配線40と、を備える。磁気抵抗効果素子25は、第2強磁性金属層23とキャップ層24との間に、拡散防止層26を有する。拡散防止層26を有する場合は、スピンの軌道トルク配線40が基板10側に設けられていてもよい。

[0111] 拡散防止層26は、キャップ層24を構成する元素が第2強磁性金属層23へ拡散することを防止する層である。上述のように、キャップ層24には、スピンの軌道トルク配線40から第2強磁性金属層23へ供給される純スピンの流を拡散しないために、スピンの伝導性が求められる。しかしながら、この点のみを考慮するとキャップ層24を構成する元素として軽元素が用いられ、この元素が第2強磁性金属層23に拡散する場合がある。

[0112] 第2強磁性金属層23に非磁性元素が拡散すると、第2強磁性金属層23の磁化特性が劣化する。例えばMgは、キャップ層24に用いることができる元素ではあるが、拡散しやすい元素である。キャップ層24と第2強磁性金属層23の間に拡散防止層26を設けることで、キャップ層24から第2強

磁性金属層 2 3 への原子の拡散を防止する。

- [0113] 拡散防止層 2 6 は、磁性元素又はイットリウム以上の原子番号を有する元素から選ばれる少なくとも一つを有することが好ましい。これらの元素は重く、動きにくい。つまりこれらの元素は、拡散してくる元素の流れを阻害する。つまり、キャップ層 2 4 を構成する元素が第 2 強磁性金属層 2 3 へ拡散することを抑制する。またこれらの元素は重いため、拡散防止層 2 6 を構成する元素自体が第 2 強磁性金属層 2 3 に拡散することもほとんどない。
- [0114] またスピン軌道トルク配線 4 0 に流れる電流の一部は、拡散防止層 2 6 にも供給される。そのため、例えば拡散防止層 2 6 を構成する材料を非磁性の重金属とすると、拡散防止層 2 6 でも純スピン流を生み出すことができる。
- [0115] 拡散防止層 2 6 の厚みは、拡散防止層を構成する原子の原子半径の 4 倍（原子直径の 2 倍）以下であることが好ましく、原子半径の 2 倍（原子直径の 1 倍）未満であることがより好ましい。ここで、拡散防止層 2 6 の厚みとは、製造時において計算上積層される厚みを意味する。
- [0116] 拡散防止層 2 6 は、元素の拡散を防止するという観点では緻密に層を構成していることが好ましい。しかしながら、緻密な層が形成されると磁気的な相関も遮断されるおそれがある。そのため、磁気的な相関を維持しつつ、元素の拡散を防止するために、拡散防止層 2 6 を構成する元素が層の面内に散逸的に存在していることが最も好ましい。
- [0117] 拡散防止層 2 6 を積層する際の計算上厚みが、原子の原子半径の 4 倍（原子直径の 2 倍）以下であれば、精密な制御をおこなわない限り、緻密な層は形成されず、隙間が形成される。また原子の原子半径の 2 倍（原子直径の 1 倍）未満であれば、原子 1 層分の厚み未満であり、緻密な層が形成されないことは明らかである。
- [0118] 拡散防止層 2 6 は、上述のように非常に薄い層であるが、エネルギー分散型 X 線分光器（EDS）を用いて分析可能である。また装置の空間分解能及び得られるピークの半値幅等から、拡散防止層 2 6 の厚みも推定可能である。
- [0119] （スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法）

次いで、本実施形態にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法について説明する。図8は、本実施形態にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法を模式的に示した図である。

[0120] 以下、拡散防止層を有さない場合を例に説明する。拡散防止層を有する場合は、第2強磁性金属層23とキャップ層24の間に拡散防止層を積層する工程を加える点のみが異なり、その他の工程は同一である。

[0121] まず図8(a)に示すように、基板10上に、配線用金属層31、第1強磁性金属層21、非磁性層22、第2強磁性金属層23、キャップ層24、プロセス保護層27を順に積層する。SOTのみを利用して磁化反転を行う場合は、配線用金属層31は不要である。

[0122] これらの積層方法は公知の方法を用いることができる。例えば、スパッタリング法、蒸着法、レーザアブレーション法、MBE法等を用いることができる。非磁性層22は、金属薄膜をスパッタリングし、得られた金属薄膜をプラズマ酸化又は酸素導入により自然酸化してもよい。

[0123] プロセス保護層27は、加工中に除去される層であり、第2強磁性金属層23に加工ダメージが加わるのを防ぐ層である。プロセス保護層27は、キャップ層24と同じ材料を用いて形成してもよいし、異なる材料を用いてもよい。

[0124] プロセス保護層27は、プロセス中に選択的にエッチングされず、機械的な硬さを有することが好ましい。そのため、プロセス保護層27を構成する材料として、Ru, Ta, SiN, W, Moからなる群から選ばれる少なくとも一つ以上の元素を用いることが好ましい。

[0125] 次いで図8(b)に示すように、プロセス保護層27上にレジスト等を設け、積層体を所定の形状に加工して、磁気抵抗効果素子20を作製する。配線30と磁気抵抗効果素子20との形状が異なる場合は、まず配線30を得るために積層体を一方向に加工したあと、その方向と異なる方向に積層体を加工する。積層体の加工には、イオンミリング法または反応性イオンエッチング(RIE)法を用いることができる。

[0126] そして、図8（c）に示すように、磁気抵抗効果素子20の側面を保護するために、磁気抵抗効果素子20の外周を絶縁体50で被覆する。この際、絶縁体50の露出面50aとプロセス保護層27の露出面27aとは、完全に同一の位置に形成されとは限らない。絶縁体50を形成する際に膜厚を制御したとしても、それぞれの面の間に僅かな段差が残る場合がある。またプロセス保護層27の露出面27aは、積層体を加工する際のダメージを受けて荒れている。

[0127] そこで図8（d）に示すように、絶縁体50の露出面50a及びプロセス保護層27の露出面27aを研磨する。研磨の方法は、化学機械研磨（CMP）を用いることが好ましい。研磨によりプロセス保護層27は除去され、キャップ層24が露出する。研磨は、必ずしもプロセス保護層27とキャップ層24の界面で止める必要はなく、キャップ層24をある程度研磨した段階で止めてもよい。

[0128] 研磨により、絶縁体50の露出面50aとキャップ層24の露出面24aは同一平面となる。またキャップ層24の露出面24aも、研磨前のプロセス保護層27の露出面27aと異なり平坦である。

[0129] 最後に、平坦化された露出面上にスピン軌道トルク配線40を積層する。スピン軌道トルク配線40は、配線30と交差する方向に延在するように加工する。その後、スピン軌道トルク配線40の露出面を絶縁体で保護し、スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子が作製される。

[0130] この製造方法において重要なのは、スピン軌道トルク配線40が積層されるキャップ層24の露出面24aが平坦化されている点である。純スピン流により誘起されるSOTは、積層面の界面の効果を大きく受ける。そのため、スピン軌道トルク配線40が積層される露出面24aを平坦化することで、SOTを効率的に誘起できる。

[0131] また第2強磁性金属層23の磁化の配向度も、積層界面の影響を大きく受ける。例えば垂直磁化膜の場合、第2強磁性金属層23の磁化は積層界面に垂直に配向する。積層界面が平坦でないと、磁化が積層方向に対して僅かに傾

いて配向する。磁化の配向方向がばらつくと、MR比の低下の原因となる。

[0132] またこの製造方法において、研磨している対象が第2強磁性金属層23ではないという点も重要である。例えば、スピン軌道トルク配線40が積層される積層面を平坦化するという点のみを考慮すると、第2強磁性金属層23を厚めに積層し、第2強磁性金属層23の露出面を研磨することも考えられる。しかしながら、第2強磁性金属層23を厚膜にすると特性にばらつきが生じる。これに対し、最初から除去される層としてプロセス保護層27を設けることで、第2強磁性金属層23に影響を与えずに、研磨等の加工が可能になる。

[0133] なお、図3～図6に示すようにスピン軌道トルク配線40を、スピン流生成部41と低抵抗部42A、42Bに分ける場合は、公知のフォトリソグラフィ等の加工手段を用いることができる。

[0134] この際、スピン流生成部41は低抵抗部42A、42Bより先に形成することが好ましい。これはスピン流生成部41から磁気抵抗効果素子20に供給される純スピン流の散乱を抑制するために、スピン流生成部41と磁気抵抗効果素子20の界面にダメージを与えないためである。

[0135] (スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の動作)

次いで、スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の動作について説明する。スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子は、第2強磁性金属層23の磁化反転を抵抗値変化として出力する。以下、第2強磁性金属層23の磁化反転を行う方法として、STTとSOTを共に利用した方法と、SOTのみを利用した方法とのそれぞれについて説明する。

[0136] まず、STTとSOTを共に利用して第2強磁性金属層23の磁化反転を行う方法について説明する。図9は、本実施形態に係るスピン流アシスト型磁気抵抗効果素子をx-z平面で切断した断面模式図である。図9は、x-z平面における断面図に対応する。素子の動作の理解に不要な絶縁体は除去して図示している。

[0137] 図9に示すようにスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子100には2種類の

電流がある。一つは、磁気抵抗効果素子 20 をその積層方向に流れ、スピン軌道トルク配線 40 及び配線 30 に流れる電流 I_1 (STT 反転電流) である。図 9 においては、電流 I_1 はスピン軌道トルク配線 40、磁気抵抗効果素子 20、配線 30 の順に流れる。この場合、電子は配線 30、磁気抵抗効果素子 20、スピン軌道トルク配線 40 の順に流れる。

[0138] もう一つは、スピン軌道トルク配線 40 の延在方向に流れる電流 I_2 (SOT 反転電流) である。電流 I_1 と電流 I_2 とは互いに交差 (直交) するものであり、磁気抵抗効果素子 20 に流れる電流とスピン軌道トルク配線 40 に流れる電流は、磁気抵抗効果素子 20 とスピン軌道トルク配線 40 とが接合する部分 (符号 24' は磁気抵抗効果素子 20 (キャップ層 24) 側の接合部を示し、符号 40' はスピン軌道トルク配線 40 側の接合部を示す) において、合流または分配される。

[0139] 電流 I_1 を流すと、第 1 強磁性金属層 (固定層) 21 の磁化と同じ方向を向いたスピンを有する電子が、スピンの向きを維持したまま、非磁性層 22 を通過し、第 2 強磁性金属層 23 に供給される。この電子は、第 2 強磁性金属層 (自由層) 23 の磁化 M_{23} が反転するようなトルク (STT) を与える。

[0140] 一方、電流 I_2 は図 2 に示す電流 1 に対応する。すなわち、電流 I_2 を流すと、第 1 スピン S_1 と第 2 スピン S_2 がそれぞれスピン軌道トルク配線 40 の端部に向かって曲げられ純スピン流 J_s が生じる。純スピン流 J_s は、電流 I_2 の流れる方向と垂直な方向に誘起される。すなわち、図における z 軸方向や x 軸方向に純スピン流 J_s が生じる。図 9 では、第 2 強磁性金属層 23 の磁化の向きに寄与する z 軸方向の純スピン流 J_s のみを図示している。

[0141] 図の手前側に電流 I_2 を流すことによりスピン軌道トルク配線 40 に生じた純スピン流 J_s は、キャップ層 24 を介して第 2 強磁性金属層 23 に拡散して流れ込む。流れ込んだスピンは、第 2 強磁性金属層 23 の磁化 M_{23} に影響を及ぼす。すなわち、図 9 では、 $-x$ 方向に向いたスピンが第 2 強磁性金属層 23 に流れ込むことで $+x$ 方向に向いた第 2 強磁性金属層 23 の磁化 M_{23} を反転させるトルク (SOT) が加わる。

[0142] 以上の通り、第1電流経路（電流 I_1 ）に流れる電流によって生じるS T T効果に、第2電流経路（電流 I_2 ）に流れる電流によって生じた純スピン流 J_s によるS O T効果が加わって、第2強磁性金属層23の磁化 M_{23} が反転する。

[0143] S T T効果のみで第2強磁性金属層23の磁化を反転させようとする（すなわち、電流 I_1 のみに電流が流れる）と、磁気抵抗効果素子20には所定の電圧以上の電圧を印加する必要がある。TMR素子の一般的な駆動電圧は数V以下と比較的小さいが、非磁性層22は数nm程度の非常に薄い膜であり、絶縁破壊が生じることがある。非磁性層22に通電を続けることで、確率的に非磁性層の弱い部分（膜質が悪い、膜厚が薄い等）が破壊される。

[0144] これに対して、S T T効果とS O T効果を同時に利用することで、磁気抵抗効果素子20に印加する電圧を小さくすることができる。また、スピン軌道トルク配線40に流す電流の電流密度も小さくできる。磁気抵抗効果素子20に印加する電圧を小さくすることで、非磁性層22が絶縁破壊される確率が低下する。またスピン軌道トルク配線40に流す電流の電流密度を小さくすることで、エネルギー効率が高めることができる。

[0145] 次いで、S O Tのみを利用して第2強磁性金属層23の磁化反転を行う方法について説明する。図10は、本実施形態に係るスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子をx-z平面で切断した断面模式図である。素子の動作の理解に不要な絶縁体は除去して図示している。S O Tのみを利用する場合は、配線30は不要なため、図10に示すスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子102は配線30を有さない。

[0146] S O Tのみを用いる場合は、上述の電流 I_2 のみを用いる。上述のように、電流 I_2 は、純スピン流 J_s を生み出し、生じた純スピン流 J_s は、キャップ層24を介して第2強磁性金属層23に拡散して流れ込む。流れ込んだスピンは、第2強磁性金属層23の磁化 M_{23} に影響を及ぼす。

[0147] すなわち、図10では、-x方向に向いたスピンが第2強磁性金属層23に流れ込むことで+x方向に向いた第2強磁性金属層23の磁化 M_{23} を反転さ

せるトルク（SOT）を与え、第2強磁性金属層23の磁化が反転する。

[0148] スピン軌道トルク配線40に流す電流の電流密度は $1 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ 未満であることが好ましい。スピン軌道トルク配線40に流す電流の電流密度が大きすぎると、スピン軌道トルク配線40に流れる電流によって熱が生じる。熱は、第2強磁性金属層23の磁化 M_{23} の安定性を低下させる。

[0149] 第2強磁性金属層23の磁化 M_{23} の安定性の低下は、想定外の外力による磁化反転が生じる可能性を高まる。磁化反転は、記録した情報が書き換わることに繋がる。そのため、この観点からはスピン軌道トルク配線40に流す電流を少なくすることが好ましく、第2強磁性金属層23の磁化反転は、STTとSOTを共に利用した方法を用いることが好ましい。

[0150] 図11は、本実施形態にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を電源も含めて図示した模式図である。図11に示すスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子100は、STTとSOTを共に利用して第2強磁性金属層23の磁化を反転する。

[0151] 第1電源110は、配線30とスピン軌道トルク配線40とに接続される。第1電源110はスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子100の積層方向に流れる電流を制御する。第1電源110は公知のものを用いることができる。

[0152] 第2電源120は、スピン軌道トルク配線40の両端に接続されている。第2電源120は、磁気抵抗効果素子20の積層方向に対して直交する方向に流れる電流を制御する。すなわち第2電源120は、スピン軌道トルク配線40に流れる電流を制御する。第2電源120は公知のものを用いることができる。

[0153] 上述のように、磁気抵抗効果素子20の積層方向に流れる電流はSTTを誘起する。これに対して、スピン軌道トルク配線40に流れる電流はSOTを誘起する。STT及びSOTはいずれも第2強磁性金属層23の磁化反転に寄与する。

[0154] このように、磁気抵抗効果素子20の積層方向に流れる電流量と、積層方

向に直交する方向に流れる電流量とを2つの電源によって制御することで、SOTとSTTが磁化反転に対して寄与する寄与率を自由に制御できる。

[0155] 例えば、デバイスに大電流を流すことができない場合は磁化反転に対するエネルギー効率の高いSTTが主となるように制御する。すなわち、第1電源110から流れる電流量を増やし、第2電源120から流れる電流量を少なくする。

[0156] また、例えば薄いデバイスを作製する必要がある、非磁性層22の厚みを薄くせざる得ない場合は、非磁性層22に流れる電流を少なくことが求められる。この場合は、第1電源110から流れる電流量を少なくし、第2電源120から流れる電流量を多くし、SOTの寄与率を高める。

[0157] なお、SOTのみを用いて第2強磁性金属層23の磁化を反転させる場合は、図11における配線30と第1電源110が不要となる。

[0158] 上述のように、本実施形態にかかるスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子によれば、ボトムピン構造のSOTを用いた磁気抵抗効果素子においても、キャップ層がスピンを散乱することを抑制できる。また加工時過程で除去されるプロセス保護層を用いることで、キャップ層とスピン軌道トルク配線の界面を平坦化できる。すなわち、スピン軌道トルク配線で生じた純スピン流を効率的に第2強磁性金属層に供給できる。また拡散防止層を設けることで、キャップ層を構成する元素が第2強磁性金属層に拡散し、MR比が低下することを防げる。

符号の説明

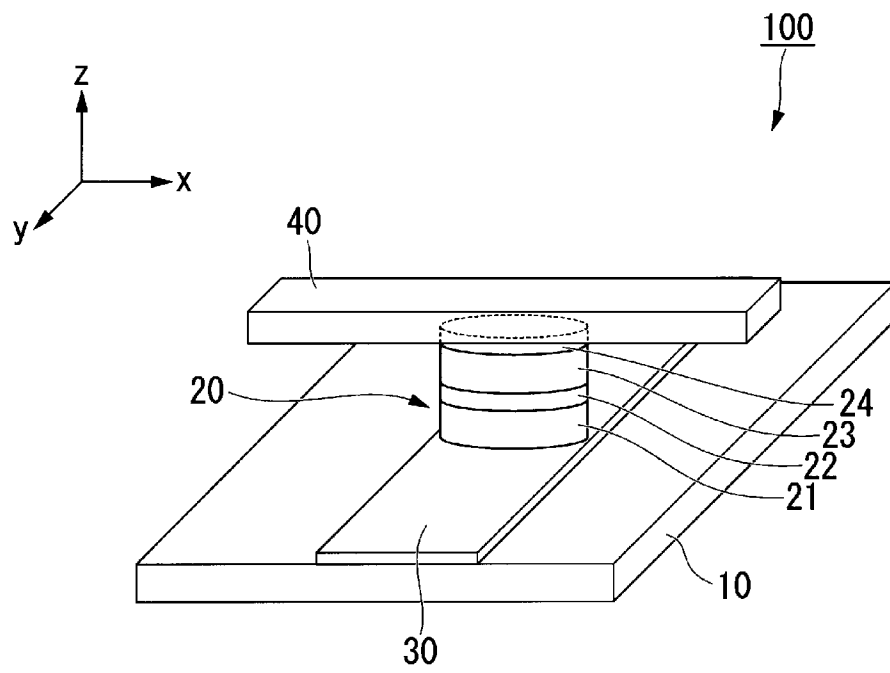
[0159] 10…基板、20, 25…磁気抵抗効果素子、21…第1強磁性金属層、22…非磁性層、23…第2強磁性金属層、24…キャップ層、27…プロセス保護層、30…配線、40…スピン軌道トルク配線、41、41A、41B…スピン流生成部、42A、42B、42C…低抵抗部、50…絶縁体、I…電流、S1…第1スピン、S2…第2スピン、100, 101, 102…スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子

請求の範囲

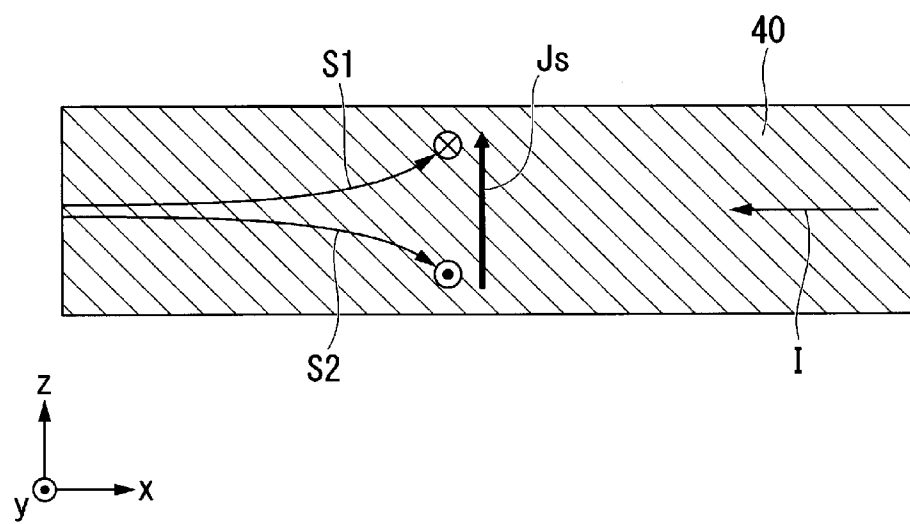
- [請求項1] 基板と、
前記基板上に設けられ、前記基板側から順に磁化の向きが固定された第1強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第2強磁性金属層と、キャップ層と、を有する磁気抵抗効果素子と、
前記磁気抵抗効果素子の積層方向に対して交差する方向に延在し、前記キャップ層に接合するスピン軌道トルク配線と、を備え、
前記キャップ層は、Cu、Ag、Mg、Al、Si、Ge、GaAsからなる群からなる選択されるいずれか一つ以上の物質を主として有する、スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 前記キャップ層の厚みが、前記キャップ層の主成分を構成する物質のスピン拡散長以下である、請求項1に記載のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。
- [請求項3] 磁化の向きが固定された第1強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第2強磁性金属層と、キャップ層と、を順に有する磁気抵抗効果素子と、
前記磁気抵抗効果素子の積層方向に対して交差する方向に延在し、前記キャップ層に接合するスピン軌道トルク配線と、を備え、
前記キャップ層は、スピン伝導性を有し、
前記磁気抵抗効果素子は、前記第2強磁性金属層と前記キャップ層との間に拡散防止層をさらに有する、スピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 前記拡散防止層は、磁性元素又はイットリウム以上の原子番号を有する元素から選ばれる少なくとも一つを有する、請求項3に記載のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 前記拡散防止層の厚みは、前記拡散防止層を構成する原子の原子半径の4倍以下である、請求項3又は4のいずれかに記載のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。

- [請求項6] 前記スピン軌道トルク配線は、最外殻に d 電子又は f 電子を有する原子番号 39 以上の非磁性金属を含む請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。
- [請求項7] 前記スピン軌道トルク配線は、純スピン流を生成する材料からなる純スピン流生成部と、該純スピン流生成部よりも電気抵抗が小さい材料からなる低抵抗部とからなり、該純スピン流生成部の少なくとも一部が前記キャップ層と接している請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子。
- [請求項8] 請求項 1 ～ 7 に記載のスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子を複数備える磁気メモリ。
- [請求項9] 基板上に、磁化の向きが固定された第 1 強磁性金属層と、非磁性層と、磁化の向きが可変の第 2 強磁性金属層と、キャップ層と、プロセス保護層とを順に積層した積層体を形成する工程と、
前記積層体を所定の形状に加工し、磁気抵抗効果素子を形成する工程と、
前記プロセス保護層を除去し、除去後に露出した露出面上にスピン軌道トルク配線を形成する工程と、を有するスピン流磁化反転型磁気抵抗効果素子の製造方法。

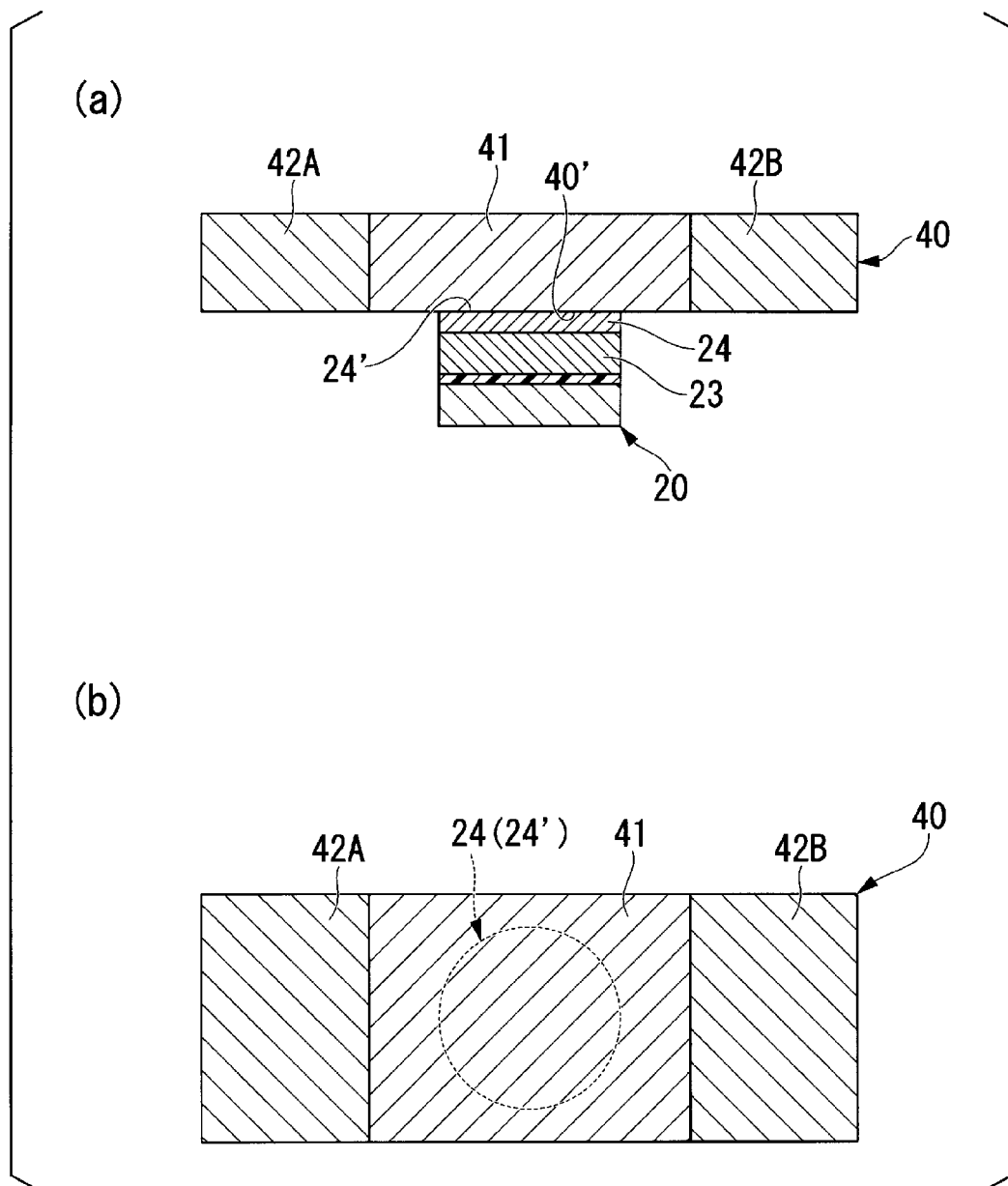
[図1]



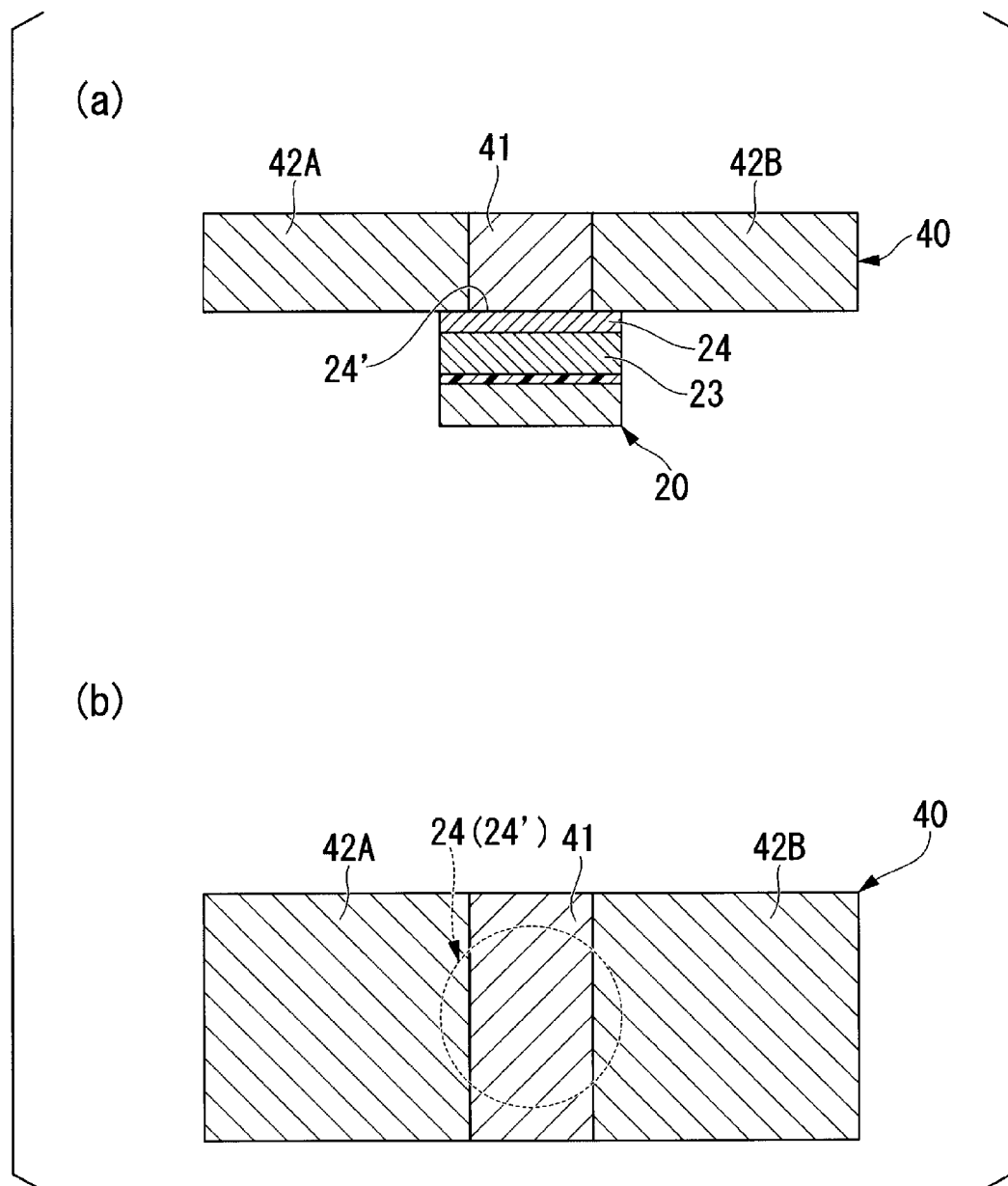
[図2]



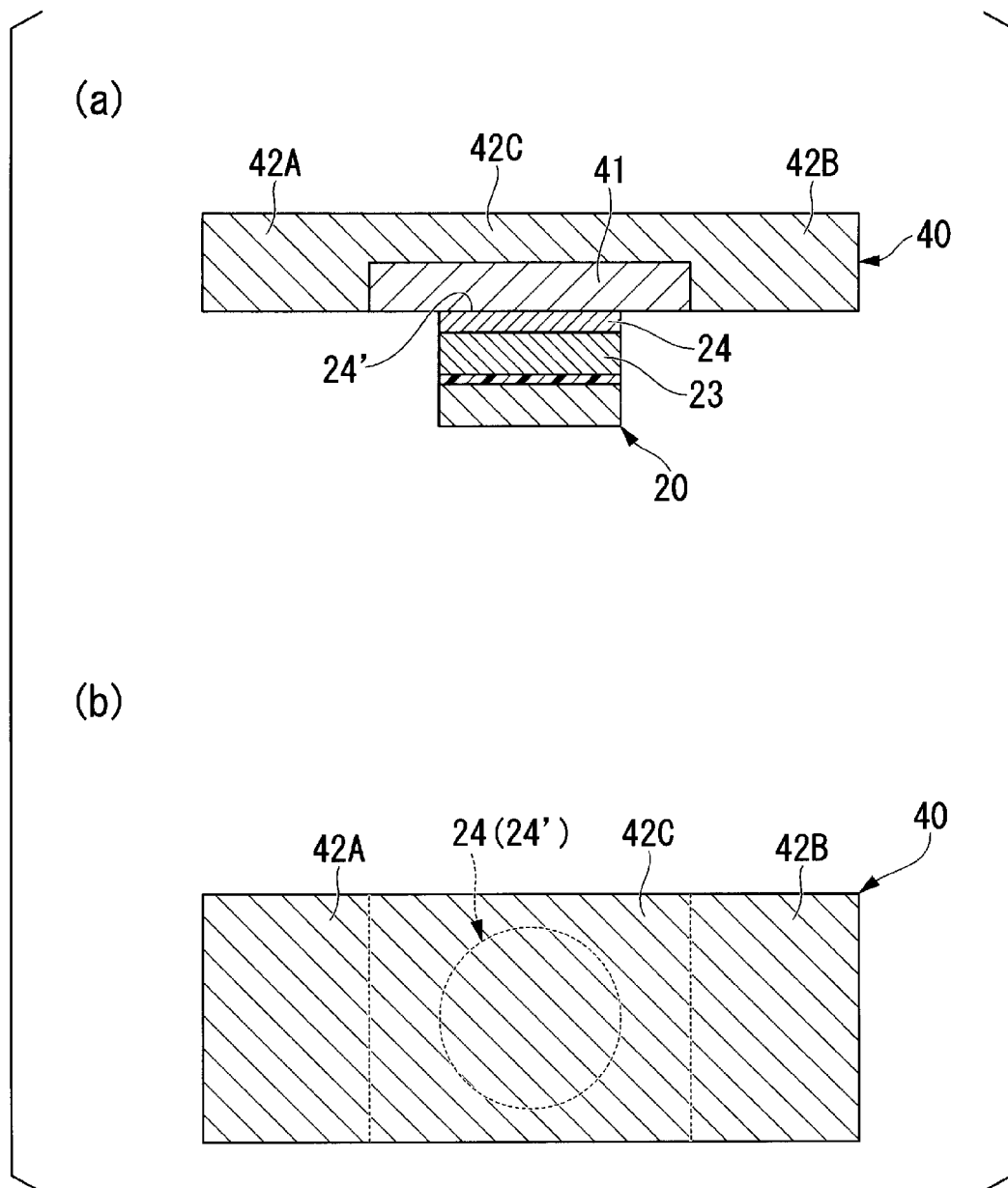
[図3]



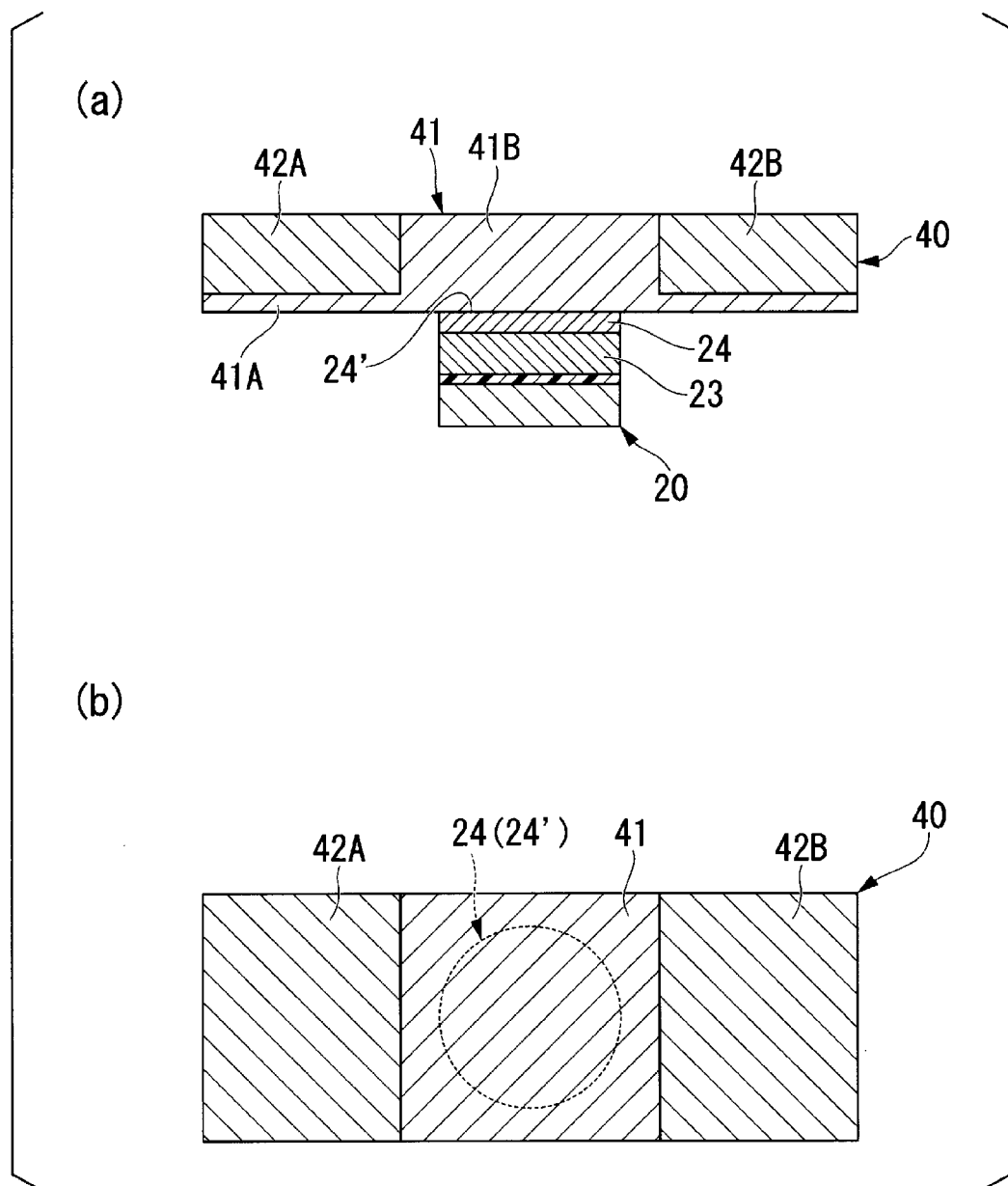
[図4]



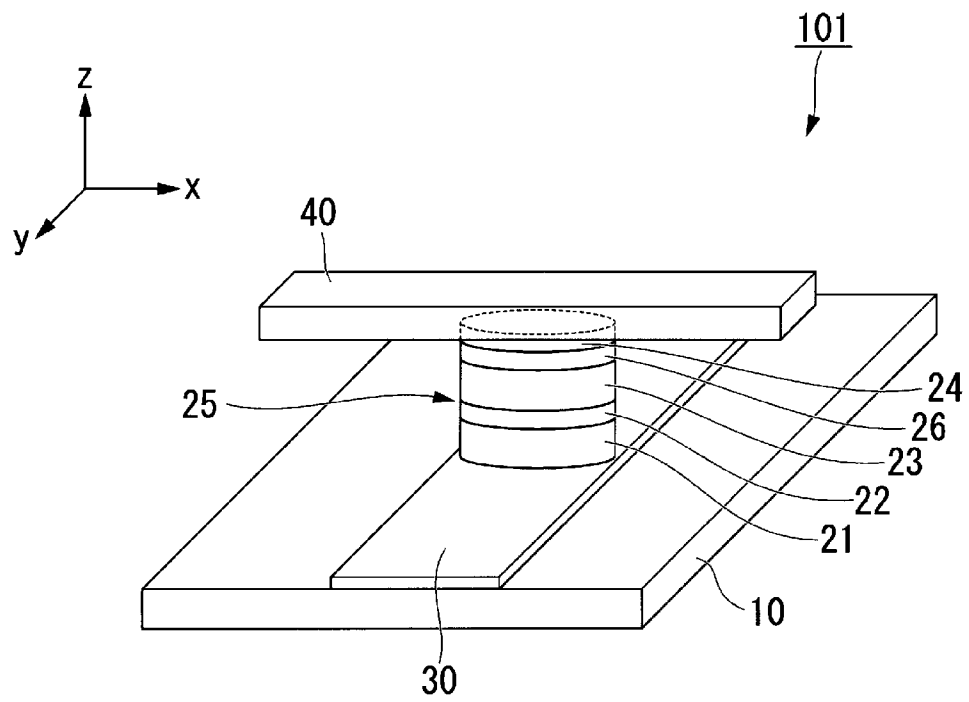
[図5]



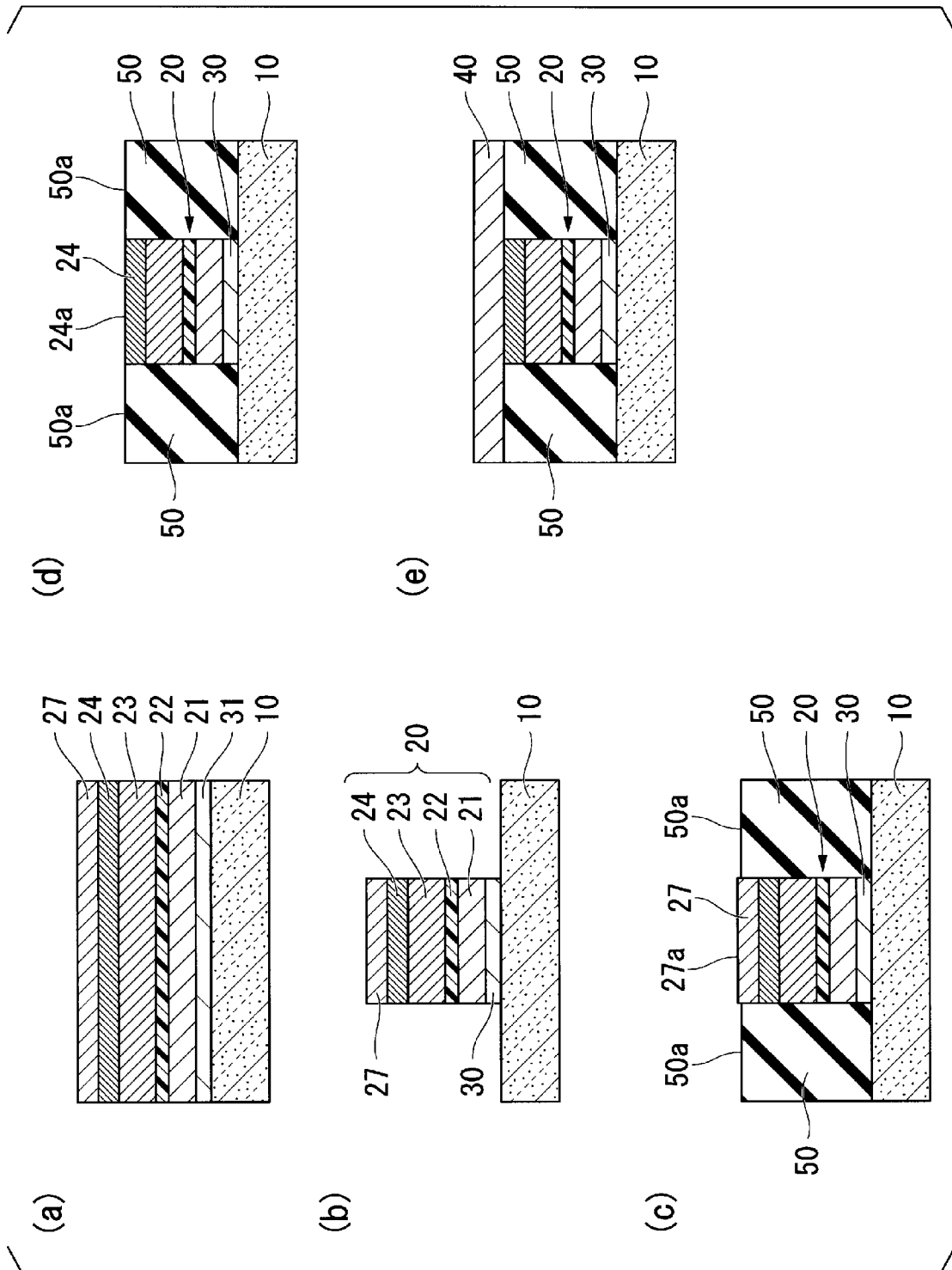
[図6]



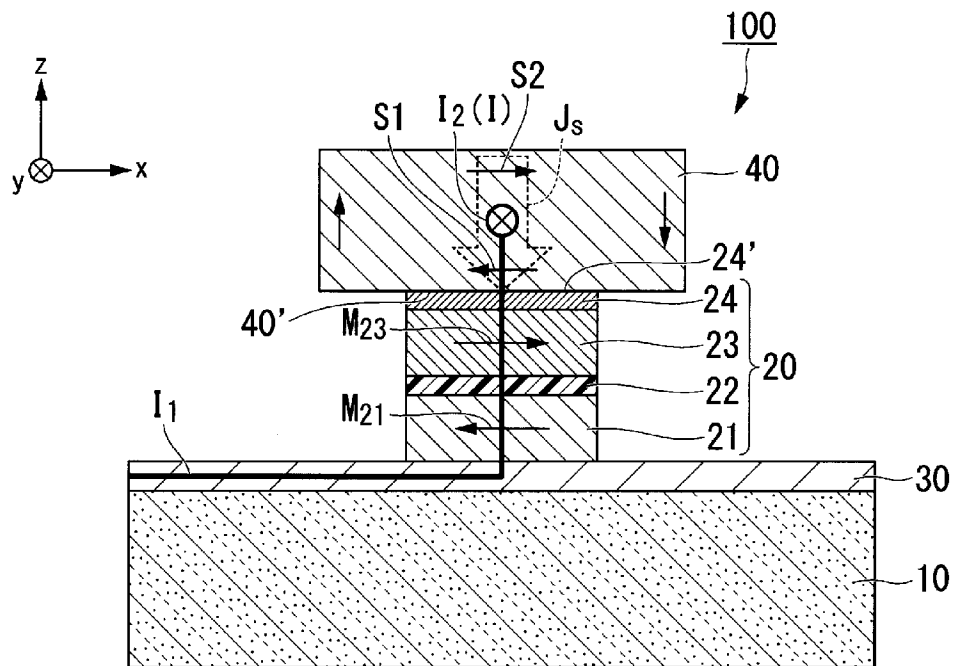
[図7]



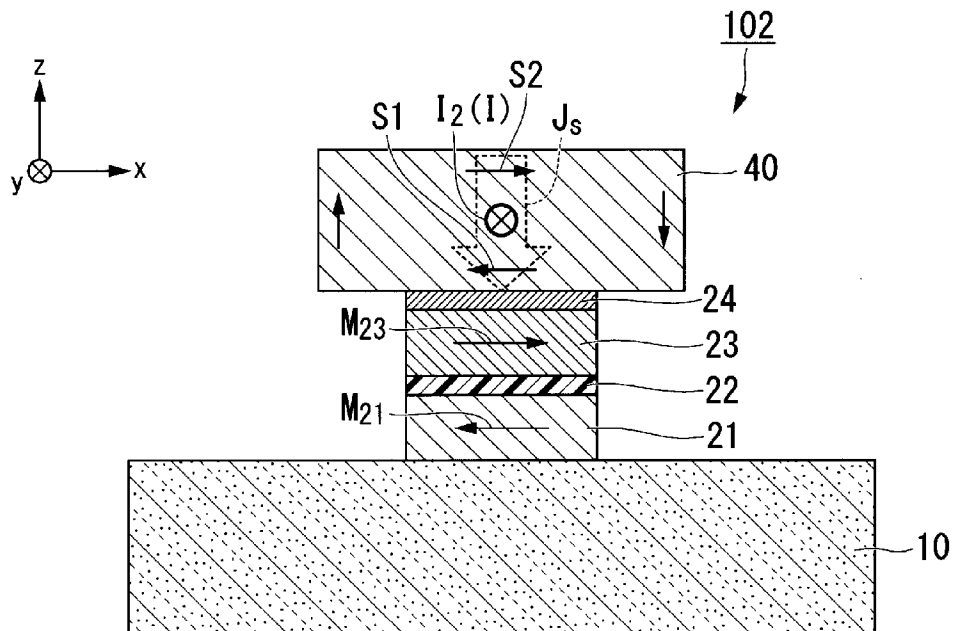
[図8]



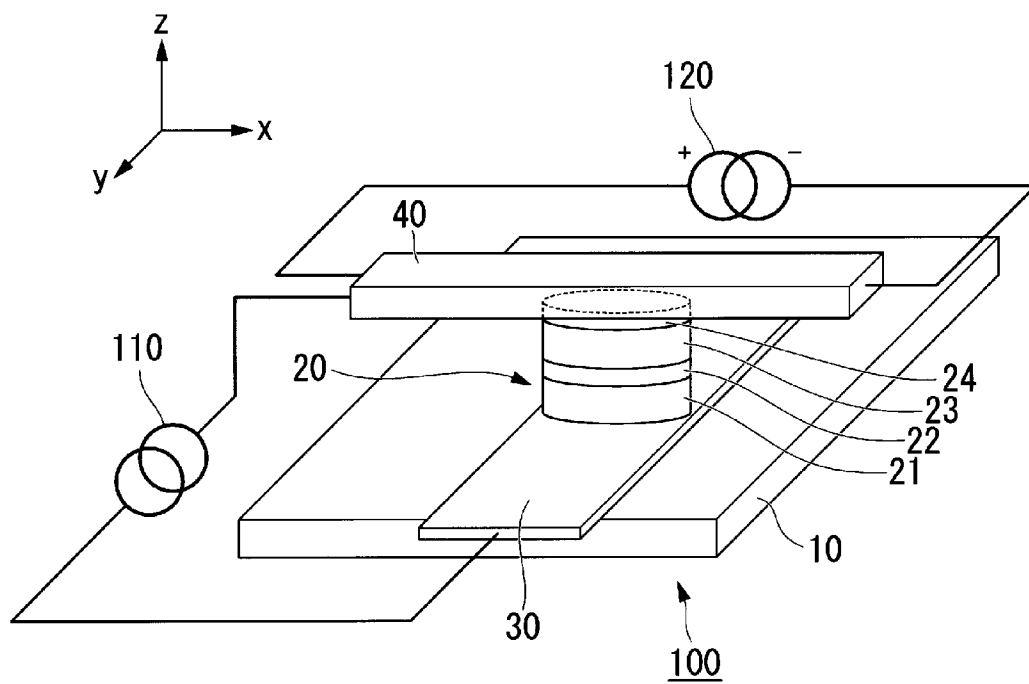
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/084995

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/08(2006.01)i, G11B5/39(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i,
H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(2006.01)i, H03B15/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L43/08, G11B5/39, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82, H03B15/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2014-45196 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 13 March 2014 (13.03.2014), paragraphs [0001], [0062] to [0079], [0101] to [0104]; fig. 3, 8 & US 2014/0056060 A1 paragraphs [0001], [0035] to [0048], [0070] to [0073]; fig. 3, 8 & US 2014/0056061 A1 & DE 102013109012 A1 & CN 103633239 A & KR 10-2014-0027036 A	1, 2, 6-8 9
X Y A	WO 2015/102739 A2 (CORNELL UNIVERSITY), 09 July 2015 (09.07.2015), paragraphs [0003], [0038] to [0140]; fig. 1A to 20B & US 2016/0276006 A1	3-6 1, 2, 6-8 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 January 2017 (27.01.17)

Date of mailing of the international search report
07 February 2017 (07.02.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/084995

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2015/0213869 A1 (QUALCOMM INC.), 30 July 2015 (30.07.2015), paragraphs [0002], [0030] to [0042]; fig. 3A to 4C & WO 2015/116417 A1	7, 8
Y	US 2015/0036415 A1 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES), 05 February 2015 (05.02.2015), paragraphs [0001], [0034] to [0041]; fig. 1 & EP 2833364 A2 & FR 3009421 A1	7, 8
A	US 2015/0097159 A1 (Samsung Electronics Co., Ltd.), 09 April 2015 (09.04.2015), entire text; all drawings & KR 10-2015-0040238 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L43/08(2006.01)i, G11B5/39(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i,
H01L29/82(2006.01)i, H03B15/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L43/08, G11B5/39, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82, H03B15/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2014-45196 A (三星電子株式会社) 2014.03.13, 段落 0001, 0062-0079, 0101-0104, 図 3, 8 & US 2014/0056060 A1 ; 段落 0001, 0035-0048, 0070-0073, 図 3, 8 & US 2014/0056061 A1 & DE 102013109012 A1 & CN 103633239 A & KR 10-2014-0027036 A	1, 2, 6-8 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27.01.2017

国際調査報告の発送日

07.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

上田 智志

電話番号 03-3581-1101 内線 3514

5 F

3664

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	WO 2015/102739 A2 (CORNELL UNIVERSITY) 2015.07.09, 段落 0003, 0038—0140, 図 1A—20B & US 2016/0276006 A1	3—6 1, 2, 6—8 9
Y	US 2015/0213869 A1 (QUALCOMM INCORPORATED) 2015.07.30, 段落 0002, 0030—0042, 図 3A—4C & WO 2015/116417 A1	7, 8
Y	US 2015/0036415 A1 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 2015.02.05, 段落 0001, 0034—0041, 図 1 & EP 2833364 A2 & FR 3009421 A1	7, 8
A	US 2015/0097159 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 2015.04.09, 全文, 全図 & KR 10-2015-0040238 A	1—9