

(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
2020年6月4日(04.06.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/110296 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 43/08 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01L 21/8239 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/044216

(22) 国際出願日: 2018年11月30日(30.11.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: T D K株式会社(TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 石谷 優剛(ISHITANI Yugo); 〒1036128
東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T
D K株式会社内 Tokyo (JP). 佐々木 智生
(SASAKI Tomoyuki); 〒1036128 東京都中央区

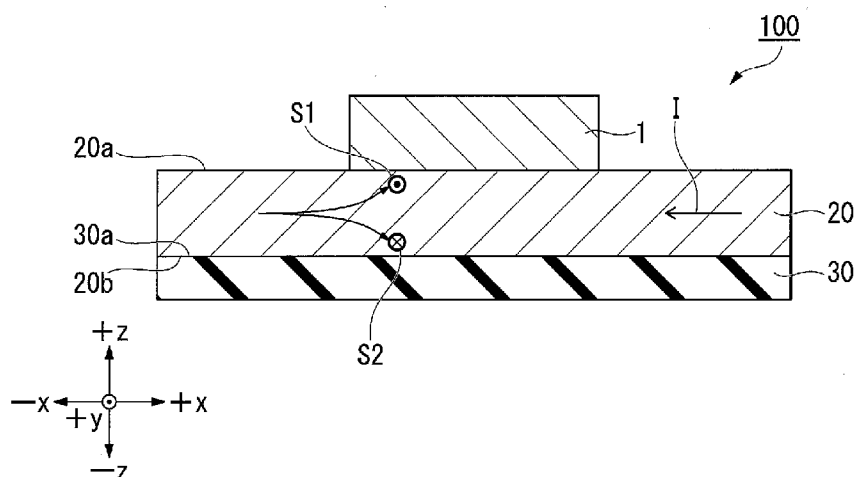
日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社
内 Tokyo (JP). 塩川 陽平(SHIOKAWA Yohei);
〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1
号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

(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, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: SPIN-ORBIT TORQUE MAGNETIZATION ROTATION ELEMENT, SPIN-ORBIT TORQUE MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC MEMORY, AND HIGH-FREQUENCY MAGNETIC ELEMENT

(54) 発明の名称: スピン軌道トルク型磁化回転素子、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び高周波磁気素子



(57) Abstract: This spin-orbit torque magnetization rotation element is provided with: a first ferromagnetic layer; a spin-orbit torque wire having a first surface facing the first ferromagnetic layer and a major axis extending in a first direction in a plan view seen from the layering direction of the first ferromagnetic layer; and an underlayer which contacts a second surface of the spin-orbit torque wire opposite the first surface thereof. The spin-orbit torque wire has, at positions overlapping the first ferromagnetic layer in the plan view seen from the layering direction, a first domain having a first crystal orientation axis and another region having a different crystal state from the first domain. The first crystal orientation axis of the first domain is continuous from the underlayer.

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).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: このスピン軌道トルク型磁化回転素子は、第1強磁性層と、第1面が前記第1強磁性層に面し、前記第1強磁性層の積層方向からの平面視で長軸が第1方向に延びたスピン軌道トルク配線と、前記スピン軌道トルク配線の前記第1面と反対の第2面に接する下地層と、を備え、前記スピン軌道トルク配線は、前記積層方向からの平面視で前記第1強磁性層と重なる位置に、第1の結晶配向軸を有する第1ドメインと、前記第1ドメインと結晶状態の異なる他の領域と、を有し、前記第1ドメインの前記第1の結晶配向軸は、前記下地層から連続する。

明 細 書

発明の名称：

スピン軌道トルク型磁化回転素子、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び高周波磁気素子

技術分野

[0001] 本発明は、スピン軌道トルク型磁化回転素子、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び高周波磁気素子に関する。

背景技術

[0002] 微細化に限界が見えてきたフラッシュメモリ等に代わる次世代の不揮発性メモリとして、抵抗変化型素子を利用してデータを記憶する抵抗変化型の磁気記録装置に注目が集まっている。磁気記録装置の一例としては、MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory)、ReRAM (Resistance Random Access Memory)、PCRAM (Phase Change Random Access Memory) 等がある。

[0003] MRAMは、磁化の向きによって生じる抵抗値変化をデータ記録に利用している。記録メモリの大容量化を実現するために、メモリを構成する素子の小型化、メモリを構成する素子一つあたりの記録ビットの多値化が検討されている。

[0004] 非特許文献1には、反強磁性体と強磁性体とを積層した構造体が記載されている。非特許文献1には、構造体の反強磁性体に電流を流すと、スピン軌道トルク (SOT) が生じ、強磁性体の磁化をアナログ制御できることが記載されている。磁化のアナログ制御は、記録ビットの多値化に繋がる。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：S.Fukami et al., Nature materials, Vol.15, p.535-p.541, 2016, nmat4566.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 磁気抵抗効果素子は、トランジスタ等の半導体デバイスと組み合わせて使用されることがある。半導体デバイスは、製造プロセスにおいて高温処理プロセスを含む。磁気抵抗効果素子を半導体デバイスと組み合わせるためには、半導体の製造プロセスに耐えることが、磁気抵抗効果素子に求められる。しかしながら、実用上の反強磁性体は、高温環境下で元素拡散を起こしてしまう。つまり、非特許文献 1 に記載の構造体は、耐久温度が低かった。

[0007] 本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、耐熱性に優れたスピン軌道トルク型磁化回転素子、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び高周波磁気素子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

[0008] (1) 第 1 の態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子は、第 1 強磁性層と、第 1 面が前記第 1 強磁性層に面し、前記第 1 強磁性層の積層方向からの平面視で長軸が第 1 方向に延びたスピン軌道トルク配線と、前記スピン軌道トルク配線の前記第 1 面と反対の第 2 面に接する下地層と、を備え、前記スピン軌道トルク配線は、前記積層方向からの平面視で前記第 1 強磁性層と重なる位置に、第 1 の結晶配向軸を有する第 1 ドメインと、前記第 1 ドメインと結晶状態の異なる他の領域と、を有し、前記第 1 ドメインの前記第 1 の結晶配向軸は、前記下地層から連続する。

[0009] (2) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記他の領域は、第 2 の結晶配向軸を有する第 2 ドメインを有し、前記第 2 の結晶配向軸は、前記下地層から連続し、前記第 1 の結晶配向軸と異なってもよい。

[0010] (3) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記他の領域は、透過型電子顕微鏡で結晶の配列を確認できない非結晶部を含んでもよい。

[0011] (4) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記下

地層と前記第1ドメインとの界面において、前記下地層と前記第1ドメインとの格子不整合度が5%以下であってもよい。

[0012] (5) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記第1強磁性層は、結晶配向軸が揃った複数のドメインを有し、前記複数のドメインのうちのいずれかは、他のドメインと結晶配向方向が異なってもよい。

[0013] (6) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記複数のドメインのそれぞれは、前記下地層から前記スピン軌道トルク配線を介して結晶構造が連続してもよい。

[0014] (7) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記第1強磁性層は、前記積層方向からの平面視で、最大幅が30nm以上であってもよい。

[0015] (8) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記スピン軌道トルク配線は、fcc構造の結晶構造を有し、前記下地層は、NaCl構造、コランダム構造及びスピネル構造のうち少なくとも一つの結晶構造を有してもよい。

[0016] (9) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記スピン軌道トルク配線は、bcc構造の結晶構造を有し、前記下地層は、NaCl構造、コランダム構造及びルチル構造のうち少なくとも一つの結晶構造を有してもよい。

[0017] (10) 上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子において、前記スピン軌道トルク配線は、hcp構造の結晶構造を有し、前記下地層は、コランダム構造の結晶構造を有してもよい。

[0018] (11) 第2の態様にかかるスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子は、上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子と、前記第1強磁性層と対向する第2強磁性層と、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性層と、を備える。

[0019] (12) 第3の態様にかかる磁気メモリは、上記態様にかかるスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子を複数備える。

[0020] (13) 第4の態様にかかる高周波磁気素子は、上記態様にかかるスピントルク型磁気抵抗効果素子を備える。

発明の効果

[0021] 上記態様にかかるスピントルク型磁化回転素子、スピントルク型磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び高周波磁気素子は、耐熱性に優れる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]第1実施形態にかかるスピントルク型磁化回転素子の断面図である。

[図2]第1実施形態にかかるスピントルク型磁化回転素子のスピントルク配線と下地層との界面近傍を拡大した模式図である。

[図3]第1の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図4]第2の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図5]第3の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図6]第4の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図7]第5の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図8]第6の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図9]第7の組み合わせの場合における界面の結晶構造を示した図である。

[図10]第1実施形態にかかるスピントルク型磁化回転素子の平面図である。

[図11]変形例1にかかるスピントルク型磁化回転素子のスピントルク配線と下地層との界面近傍を拡大した断面図である。

[図12]変形例1にかかるスピントルク型磁化回転素子の平面図である。

[図13]変形例2にかかるスピントルク型磁化回転素子102の断面図である。

[図14]変形例3にかかるスピントルク型磁化回転素子103の断面図である。

[図15]第2実施形態にかかるスピントルク型磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図16]第3実施形態にかかる磁気メモリの平面図である。

[図17]第4実施形態にかかる高周波磁気素子の断面模式図である。

発明を実施するための形態

[0023] 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。

[0024] 方向について定義する。 $+z$ 方向は、支持体（図示略）に対して後述する下地層30、スピン軌道トルク配線20及び第1強磁性層1が積層される方向である。 $-z$ 方向は、その反対方向である。 $+z$ 方向と $-z$ 方向とを区別しない場合は、単に「 z 方向」という。「 x 方向」は、 z 方向と略直交し、スピン軌道トルク配線20が延びる方向である。 x 方向のうち一方向を $+x$ 方向、その反対方向を $-x$ 方向とする。「 y 方向」は、 z 方向及び x 方向と直交する方向である。 y 方向のうち一方向を $+y$ 方向、その反対方向を $-y$ 方向とする。第1方向は、 x 方向の一例である。積層方向は、 $+z$ 方向の一例である。以下、 $+z$ 方向を「上」、 $-z$ 方向を「下」と表現する場合がある。上下は、必ずしも重力が加わる方向とは一致しない。

[0025] (スピン軌道トルク型磁化回転素子)

「第1実施形態」

図1は、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子100の断面図である。スピン軌道トルク型磁化回転素子100は、第1強磁性層1とスピン軌道トルク配線20と下地層30とを有する。

[0026] (下地層)

下地層30は、スピン軌道トルク配線20の第2面20bに接する。下地層30は、第1強磁性層1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。

[0027] 下地層30は、多結晶の絶縁体である。多結晶は、複数の結晶が集合した状態である。下地層30の第1面30aは、原子が所定の配列で配列したドメインを複数有する。第1面30aは、スピン軌道トルク配線20の第2面20bに接する面である。

[0028] 下地層30は、例えば、 MgO 、 FeO 、 VO 、 MnO 、 CoO 、 NiO 、 TiO_2 、 MnO_2 、 RuO_2 、 SnO_2 、 Al_2O_3 、 Ti_2O_3 、 V_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Ga_2O_3 、 Rh_2O_3 、 VO 、 MgAl_2O_3 である。

[0029] 下地層30の各ドメインの結晶構造は、例えば、 NaCl 構造、ルチル構造、スピネル構造、コランダム構造である。

[0030] 例えば、下地層30が MgO 、 FeO 、 VO 、 MnO 、 CoO 、 NiO のいずれかの場合、下地層30の各ドメインの結晶構造は NaCl 構造を選択しやすい。

[0031] 例えば、下地層30が TiO_2 、 MnO_2 、 RuO_2 、 SnO_2 のいずれかの場合、下地層30の各ドメインの結晶構造はルチル構造を選択しやすい。

[0032] 例えば、下地層30が Al_2O_3 、 Ti_2O_3 、 V_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Ga_2O_3 、 Rh_2O_3 のいずれかの場合は、下地層30の各ドメインの結晶構造はコランダム構造を選択しやすい。

[0033] 例えば、下地層30が $\text{Mg}_x\text{Al}_{3-x}\text{O}_4$ の場合は、下地層30の各ドメインの結晶構造はスピネル構造を選択しやすい。なお、同じ材料を用いて下地層30を成膜した場合でも、下地層30が選択する結晶構造は、成膜条件等で異なる。

[0034] (スピン軌道トルク配線)

スピン軌道トルク配線20は、 xy 平面に存在し、 x 方向に長軸を有する。スピン軌道トルク配線20は x 方向に延びる。スピン軌道トルク配線20の第1面20a及び第2面20bは、 xy 平面と略平行である。

[0035] スピン軌道トルク配線20は、電流 I が流れるとスピンホール効果によってスピン流を生み出す。スピンホール効果は、電流 I を流した場合にスピン軌道相互作用に基づき、電流 I の流れる方向と直交する方向にスピン流が誘

起される現象である。スピン軌道トルク配線 20 は、第 1 強磁性層 1 の磁化を反転できるだけのスピン軌道トルク (SOT) を第 1 強磁性層 1 に生み出す。

[0036] スピン軌道トルク配線 20 の両端に電位差を与えると、スピン軌道トルク配線 20 に沿って電流 I が流れる。一方向に配向した第 1 スピン S_1 と、第 1 スピン S_1 と反対方向に配向した第 2 スピン S_2 とは、それぞれ電流と直交する方向に曲げられる。例えば、 $+y$ 方向に配向した第 1 スピン S_1 が $+z$ 方向に曲げられ、 $-y$ 方向に配向した第 2 スピン S_2 が $-z$ 方向に曲げられる。

[0037] 通常のホール効果とスピホール効果とは、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、スピホール効果では磁場が存在しなくても、電子が移動するだけ (電流が流れるだけ) でスピンの移動方向が曲げられる点が大きく異なる。

[0038] 非磁性体 (強磁性体ではない材料) は、スピホール効果により生じる第 1 スピン S_1 の電子数と第 2 スピン S_2 の電子数とが等しい。図 1 において、 $+z$ 方向に向かう第 1 スピン S_1 の電子数と $-z$ 方向に向かう第 2 スピン S_2 の電子数とは等しい。この場合、電荷の流れは互いに相殺され、電流量はゼロとなる。電流を伴わないスピン流は特に純スピン流と呼ばれる。

[0039] 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。スピン流 J_s は、 z 方向に生じる。図 1 において、スピン軌道トルク配線 20 は第 1 強磁性層 1 に面する。スピンは、スピン軌道トルク配線 20 から第 1 強磁性層 1 に注入される。注入されたスピンは、スピン軌道トルク (SOT) を、第 1 強磁性層 1 の磁化に与える。第 1 強磁性層 1 の磁化は、スピン軌道トルク (SOT) により磁化反転する。

[0040] スピン軌道トルク配線 20 は、電流が流れる際のスピホール効果によっ

てスピン流を発生させる機能を有する金属、合金、金属間化合物、金属硼化物、金属炭化物、金属珪化物、金属燐化物のいずれかによって構成される。スピン軌道トルク配線20は、第1強磁性層1の磁化を反転できるだけのスピン軌道トルク（SOT）を第1強磁性層1に生み出す材料を含む。

[0041] スピン軌道トルク配線20の主構成は、非磁性の重金属であることが好ましい。重金属は、イットリウム以上の比重を有する金属を意味する。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。非磁性の重金属は、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。

[0042] 電子は、一般に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、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く、スピンホール効果が強く生じる。z方向のスピンの流れは、z方向のスピンの偏在の程度に依存する。スピンホール効果が強く生じるとスピンの偏在しやすく、スピン流 J_s が発生しやすくなる。

[0043] 図2は、スピン軌道トルク配線20と下地層30との界面近傍を拡大した模式図である。スピン軌道トルク配線20は、第1ドメイン21と他の領域22とを有する。図2に示す他の領域22は、第2ドメイン22Aと第3ドメイン22Bとを有する。これらのドメインは粒界によって区切られる。

[0044] 第1ドメイン21は、第1の結晶配向軸 $a \times 1$ を有する。第2ドメイン22Aは、第2の結晶配向軸 $a \times 2$ を有する。第3ドメイン22Bは、第3の結晶配向軸 $a \times 3$ を有する。結晶配向軸は、原子の配列面（図2において点線で図示）に対して垂直な方向である。原子の配列面は、透過型電子顕微鏡（TEM）で測定される。第1の結晶配向軸 $a \times 1$ と第2の結晶配向軸 $a \times 2$ と第3の結晶配向軸 $a \times 3$ とは、それぞれ配向方向が異なる。例えば、第2の結晶配向軸 $a \times 2$ 及び第3の結晶配向軸 $a \times 3$ は、第1の結晶配向軸 $a \times 1$ に対して傾いている。

[0045] 第1の結晶配向軸 $a \times 1$ は、下地層30の第1ドメイン31から連続する

。第2の結晶配向軸 $a \times 2$ は、下地層30の第2ドメイン32Aから連続する。第3の結晶配向軸 $a \times 3$ は、下地層30の第3ドメイン32Bから連続する。スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21、第2ドメイン22A及び第3ドメイン22Bのそれぞれは、下地層30の第1ドメイン31、第2ドメイン32A及び第3ドメイン32Bのそれぞれからエピタキシャル成長している。

[0046] 結晶配向軸の連続する下地層30とスピン軌道トルク配線20との界面における格子不整合度は、好ましくは5%以下である。例えば、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21と下地層30の第1ドメイン31との界面b1において、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21と下地層30の第1ドメイン31との格子不整合度は、好ましくは5%以下である。

[0047] 「格子不整合度」は、結晶界面において二つの結晶の整合状態の指標である。格子不整合度が大きいほど、互いの結晶が整合しておらず、結晶界面で互いの結晶格子が歪む。格子不整合度が5%以下であれば、スピン軌道トルク配線20は、下地層30の結晶構造を反映してエピタキシャル成長する。

[0048] 格子不整合度は、下地層30の結晶構造及びスピン軌道トルク配線20の結晶構造によって算出の仕方が異なる。以下、下地層30の第1ドメイン31とスピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21との界面b1を例に説明する。

[0049] 例えば、下地層30の第1ドメイン31がNaCl構造の場合、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、fcc構造またはbcc構造となる。以下、下地層30の第1ドメイン31がNaCl構造で、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21がfcc構造の組み合わせを「第1の組み合わせ」という。また、下地層30の第1ドメイン31がNaCl構造で、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21がbcc構造の組み合わせを「第2の組み合わせ」という。

[0050] 図3は、第1の組み合わせの場合における界面b1の結晶構造を示した図である。図3において下地層30の第1ドメイン31の結晶構造を実線、ス

ピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の結晶構造を点線で示す。

[0051] 下地層 30 の第 1 ドメイン 31 は、A サイトと B サイトが交互配列した正方格子である。下地層 30 の第 1 ドメイン 31 の格子定数は a_{NaCl} である。

[0052] スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の単位格子は正方格子となる。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の格子定数は a_{fcc} である。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 上に Cubic on Cubic (ConC) 成長する。ConC 成長は、単位格子の辺が一致する成長状態をいう。

[0053] 格子不整合度は、第 1 の組み合わせの場合、以下の式 (1) で表される。

[0054] [数1]

$$\text{格子不整合度} = \frac{|a_{NaCl} - a_{fcc}|}{a_{fcc}} \times 100[\%] \quad \dots (1)$$

[0055] スピン軌道トルク配線 20 が Pt、Pd、Au の場合、スピン軌道トルク配線 20 の結晶構造は fcc 構造を選択しやすい。例えば、下地層 30 が MgO、MnO、AlN、VO からなる群から選択されるいずれかであり、スピン軌道トルク配線 20 が Pt の場合、界面 b1 の組み合わせは、第 1 の組み合わせになりやすい。

[0056] 図 4 は、第 2 の組み合わせにおける界面 b1 の結晶構造を示した図である。図 4 において下地層 30 の第 1 ドメイン 31 の結晶構造を実線、スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の結晶構造を点線で示す。

[0057] 下地層 30 の第 1 ドメイン 31 の結晶構造は、図 3 と同じである。

スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の単位格子は正方格子である。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の格子定数は a_{bcc} である。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 上に Rotate 45 (R45) 成長する。R45 成長は、第 1 ドメイン 21 の単位格子の辺と第 1 ドメイン 31 の単位格子の辺とが 45 度傾いた成長状態をいう。第 1 ドメイン 31 の単位格子の辺は、第 1 ドメイン 21 の単位格子の対角線と対応する。

[0058] 格子不整合度は、第2の組み合わせの場合、以下の式(2)で表される。

[0059] [数2]

$$\text{格子不整合度} = \frac{|a_{NaCl} - \sqrt{2}a_{bcc}|}{\sqrt{2}a_{bcc}} \times 100[\%] \quad \dots (2)$$

[0060] スピン軌道トルク配線20がTa、W、Moの場合、スピン軌道トルク配線20の結晶構造はbcc構造を選択しやすい。例えば、下地層30がMgO、MnO、VOからなる群から選択されるいずれかであり、スピン軌道トルク配線20がTaの場合、界面b1の組み合わせは、第2の組み合わせになりやすい。

[0061] また例えば、下地層30の第1ドメイン31がルチル構造の場合、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21はbcc構造となる。以下、下地層30の第1ドメイン31がルチル構造で、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21がbcc構造の組み合わせを「第3の組み合わせ」という。

[0062] 図5は、第3の組み合わせの場合の界面b1の結晶構造を示した図である。図5において下地層30の第1ドメイン31の結晶構造を実線、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21の結晶構造を点線で示す。

[0063] 下地層30の第1ドメイン31の単位格子は、正方形の各頂点及び中央に配置されたAサイトと、中央のAサイトを取り囲む4つのBサイトとからなる。下地層30の第1ドメイン31の格子定数は a_{rut} である。

[0064] スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21の単位格子は、図4と同様である。スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21の格子定数は a_{bcc} である。スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、下地層30の第1ドメイン31上にR45成長する。第1ドメイン31の単位格子の辺は、第1ドメイン21の単位格子の対角線と対応する。

[0065] 格子不整合度は、第3の組み合わせの場合、以下の式(3)で表される。

[0066]

[数3]

$$\text{格子不整合度} = \frac{|a_{\text{rut}} - \sqrt{2}a_{\text{bcc}}|}{\sqrt{2}a_{\text{bcc}}} \times 100[\%] \quad \dots (3)$$

[0067] 例えば、下地層30がTiO₂、MnO₂、RuO₂からなる群から選択されるいずれかであり、スピン軌道トルク配線20がWの場合、第3の組み合わせとなりやすい。

[0068] また例えば、下地層30の第1ドメイン31がコランダム構造の場合、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、fcc構造、bcc構造、hcp構造のいずれかとなる。以下、下地層30の第1ドメイン31がコランダム構造で、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21がfcc構造の組み合わせを「第4の組み合わせ」という。また、第1ドメイン31がコランダム構造で、第1ドメイン21がbcc構造の組み合わせを「第5の組み合わせ」という。また第1ドメイン31がコランダム構造で、第1ドメイン21がhcp構造の組み合わせを「第6の組み合わせ」という。

[0069] 図6は、第4の組み合わせの場合の界面b1の結晶構造を示した図である。図6において下地層30の第1ドメイン31の結晶構造を実線、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21の結晶構造を点線で示す。

[0070] 下地層30の第1ドメイン31の単位格子は、4つのAサイトを結ぶ平行四辺形となる。下地層30の第1ドメイン31の格子定数はa_{c,r}である。

[0071] スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、下地層30の第1ドメイン31上に、〈111〉方向に結晶成長する。スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、下地層30の第1ドメイン31と(111)面で整合する。

[0072] fcc構造の(111)面は、三角形状に配置された原子が最密状態で並び、三角形の1辺は、単位格子a_{fcc}の対角線の長さと同じ。

[0073] 格子不整合度は、第4の組み合わせの場合、以下の式(4)で表される。

[0074]

[数4]

$$\text{格子不整合} = \frac{\left| \frac{2}{\sqrt{3}} a_{\text{cor}} - \sqrt{2} a_{\text{fcc}} \right|}{\sqrt{2} a_{\text{fcc}}} \times 100[\%] \quad \dots (4)$$

[0075] 例えば、下地層30が Al_2O_3 、 V_2O_3 からなる群から選択されるいずれかであり、スピン軌道トルク配線20がPdの場合、第4の組み合わせとなりやすい。

[0076] 図7は、第5の組み合わせの場合の界面b1の結晶構造を示した図である。図7において下地層30の第1ドメイン31の結晶構造を実線、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21の結晶構造を点線で示す。

[0077] 下地層30の第1ドメイン31の結晶構造は、図6と同じである。

スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、下地層30の第1ドメイン31上に、 $\langle 110 \rangle$ 方向に結晶成長する。スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21は、下地層30の第1ドメイン31と (110) 面で整合する。

[0078] bcc構造の (110) 面は、長形状に原子が配列する。この長方形の長辺は、単位格子 a_{bcc} の対角線の長さと同じ。

[0079] 格子不整合度は、第5の組み合わせの場合、以下の式(5)で表される。

[0080] [数5]

$$\text{格子不整合} = \frac{|a_{\text{cor}} - \sqrt{2} a_{\text{bcc}}|}{\sqrt{2} a_{\text{bcc}}} \times 100[\%] \quad \dots (5)$$

[0081] 例えば、下地層30が Al_2O_3 、 Ti_2O_3 、 V_2O_3 からなる群から選択されるいずれかであり、スピン軌道トルク配線20がMoの場合、第5の組み合わせとなりやすい。

[0082] 図8は、第6の組み合わせの場合の界面b1の結晶構造を示した図である。図8において下地層30の第1ドメイン31の結晶構造を実線、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21の結晶構造を点線で示す。

[0083] 下地層 30 の第 1 ドメイン 31 の結晶構造は、図 6 と同じである。

スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 上に、 $\langle 0001 \rangle$ 方向に結晶成長する。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 と (0001) 面で整合する。

[0084] hcp 構造の (0001) 面は、原子が六方最密状に並ぶ。この六角形の一辺が、単位格子 a_{hcp} である。

[0085] 格子不整合度は、第 6 の組み合わせの場合、以下の式 (6) で表される。

[0086] [数 6]

$$\text{格子不整合} = \frac{\left| \frac{1}{\sqrt{3}} a_{cor} - a_{hcp} \right|}{a_{hcp}} \times 100[\%] \quad \dots (6)$$

[0087] スピン軌道トルク配線 20 が Ti の場合、スピン軌道トルク配線 20 の結晶構造は hcp 構造を選択しやすい。例えば、下地層 30 が Ti_2O_3 または Fe_2O_3 であり、スピン軌道トルク配線 20 が Ti の場合、第 6 の組み合わせとなりやすい。

[0088] また例えば、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 がスピネル構造の場合、スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は fcc 構造となる。以下、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 がスピネル構造で、スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 が fcc 構造の組み合わせを「第 7 の組み合わせ」という。

[0089] 下地層 30 の第 1 ドメイン 31 の単位格子は、正方格子となる。第 1 ドメイン 31 の格子定数は a_{spinel} である。

[0090] スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の単位格子は、図 3 と同じである。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 の格子定数は a_{fcc} である。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 上に $\text{Co}nC$ 成長する。スピン軌道トルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 は、第 1 ドメイン 31 の単位格子の辺の半分と対応する。

[0091] 格子不整合度は、第7の組み合わせの場合、以下の式(7)で表される。

[0092] [数7]

$$\text{格子不整合} = \frac{\left| \frac{1}{2} a_{\text{spinel}} - a_{\text{fcc}} \right|}{a_{\text{fcc}}} \times 100[\%] \quad \dots (7)$$

[0093] 例えば、下地層30が $\text{Mg}_x\text{Al}_{3-x}\text{O}_4$ であり、スピン軌道トルク配線20がAuの場合、第7の組み合わせとなりやすい。

[0094] 図10は、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子100の平面図である。図10において、スピン軌道トルク配線20の第1面20aの結晶状態は、簡単のため第1強磁性層1と重なる位置のみで図示した。

[0095] 第1ドメイン21、第2ドメイン22A、第3ドメイン22Bは、z方向からの平面視で、第1強磁性層1と重なる位置にある。第1ドメイン21、第2ドメイン22A、第3ドメイン22Bは、粒界で区切られる。第1ドメイン21、第2ドメイン22A及び第3ドメイン22Bのそれぞれの第1面20aは、例えば、それぞれ面指数が異なる。

[0096] またスピン軌道トルク配線20は、磁性金属を含んでもよい。磁性金属は、強磁性金属又は反強磁性金属である。非磁性体に含まれる微量な磁性金属は、スピンの散乱因子となる。スピンの散乱するとスピン軌道相互作用が増強され、電流に対するスピン流の生成効率が高くなる。

[0097] 一方で、磁性金属の添加量が増大し過ぎると、発生した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場合がある。添加される磁性金属のモル比はスピン軌道トルク配線を構成する元素の総モル比よりも十分小さい方が好ましい。添加される磁性金属のモル比は、全体の3%以下であることが好ましい。

[0098] スピン軌道トルク配線20は、トポロジカル絶縁体を含んでもよい。トポロジカル絶縁体は、物質内部が絶縁体又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。トポロジカル絶縁体は、スピン軌道相互作用により内部磁場が生じる。トポロジカル絶縁体は、外部磁

場が無くてもスピン軌道相互作用の効果で新たなトポロジカル相が発現する。トポロジカル絶縁体は、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に生成できる。

[0099] トポロジカル絶縁体は、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 、 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ 、 $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ などである。トポロジカル絶縁体は、高効率にスピン流を生成することが可能である。

[0100] (第1強磁性層)

第1強磁性層1は、スピン軌道トルク配線20の第1面20aに積層されている(図1参照)。第1強磁性層1は、スピン軌道トルク配線20に直接接続されていてもよいし、他の層を介し接続されていてもよい。

[0101] 第1強磁性層1は、強磁性体、特に軟磁性体を含む。強磁性体は、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である。強磁性体は、例えば、 Co-Fe 、 Co-Fe-B 、 Ni-Fe 、 Co-Ho 合金、 Sm-Fe 合金、 Fe-Pt 合金、 Co-Pt 合金、 CoCrPt 合金である。

[0102] 第1強磁性層1は、 Co_2FeSi 等のホイスラー合金を含んでもよい。ホイスラー合金は、 XYZ または X_2YZ の化学組成をもつ金属間化合物を含む。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り、Yは Mn 、 V 、 Cr あるいは Ti 族の遷移金属又はXの元素種であり、ZはⅢ族からⅤ族の典型元素である。ホイスラー合金は、例えば、 Co_2FeSi 、 Co_2FeGe 、 Co_2FeGa 、 Co_2MnSi 、 $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-a}\text{Fe}_a\text{Al}_b\text{Si}_{1-b}$ 、 $\text{Co}_2\text{FeGe}_{1-c}\text{Ga}_c$ 等である。ホイスラー合金は高いスピン分極率を有する。

[0103] 図10に示す第1強磁性層1は、z方向からの平面視で、楕円形である。第1強磁性層1の平面視形状は、楕円形に限られない。第1強磁性層1の平面視形状は、例えば、円形、三角形、四角形、不定形等でもよい。

[0104] z方向からの平面視で、第1強磁性層1の最大幅wは、好ましくは30nm以上である。図10に示すように第1強磁性層1の平面視形状が楕円形の場合、最大幅wは楕円の長軸の幅である。また第1強磁性層1の平面視形状が円形の場合、最大幅wは円の直径である。また第1強磁性層1の平面視形状が多角形の場合、最大幅wは最大の辺の長さである。第1強磁性層1の最大幅wが広いと、第1強磁性層1内に複数の磁区が形成されやすくなる。

[0105] 第1強磁性層1の磁化は、xy面内のいずれかの方向又はz方向に配向する。第1強磁性層1の磁化がxy面内のいずれかの方向に配向している場合、第1強磁性層1は面内磁化膜と言われる。第1強磁性層1の磁化がz方向に配向している場合、第1強磁性層1は垂直磁化膜と言われる。

[0106] (スピン軌道トルク型磁化回転素子の製造方法)

スピン軌道トルク型磁化回転素子100の製造方法は、下地層30の成膜工程と、スピン軌道トルク配線20の成膜工程と、第1強磁性層1の成膜工程と、を有する。各層の成膜は、スパッタリング法、化学気相成長(CVD)法等が用いられる。

[0107] まず支持体上に、下地層30が多結晶となるように成膜する。支持体は、公知の物が用いられる。

[0108] 例えば、支持体に対してイオンを斜め方向からスパッタリングする。イオンを斜め方向からスパッタリングすると、支持体に対するイオンの飛来距離、飛来時間が場所ごとで変わり、スパッタ源から近い部分と遠い部分とで結晶配向軸の方向が変わる。

[0109] また例えば、下地層30の成膜条件を成膜途中で変化させる。例えば、成膜初期のスパッタリングのエネルギーを低くして、成膜途中でスパッタリングのエネルギーを高くする。成膜途中で成膜エネルギーを変えると、スパッタリングしたイオンの凝集状態が変化し、結晶配向軸が場所ごとで変化する。

[0110] また例えば、下地層30の成膜面をフラッシングする。フラッシングは、成膜面を瞬間的に高温にさらすことをいう。下地層30の成膜面をフラッシ

ングすると、成膜面にステップが露出する。ステップは、原子配列面（テラス）間の段差である。ステップ近傍は成長条件が変化し、結晶配向軸が場所ごとで変化する。

[0111] また例えば、下地層 30 を成膜し、アニールした後に急冷してもよい。急冷により下地層 30 が多結晶となる。

[0112] 次いで、下地層 30 上にスピントルク配線 20 を成膜する。スピントルク配線 20 は、材料の設定と成膜条件の制御とのうち少なくとも一方を行うことで、下地層 30 上にエピタキシャル成長する。スピントルク配線 20 がエピタキシャル成長すると、下地層 30 の第 1 ドメイン 31 とスピントルク配線 20 の第 1 ドメイン 21 とが連続し、これらの結晶配向軸が一致する。

[0113] スピントルク配線 20 の材料は、例えば、下地層 30 とスピントルク配線 20 との界面における格子不整合度が 5 % 以下となるように設定する。表 1 に、下地層 30 とスピントルク配線 20 との界面における格子不整合度が 5 % 以下となる組み合わせの一例を示す。

[0114] [表1]

下地層			格子不整合度								
			スピントルク配線								
			fcc				bcc				hcp
			Pt	Pd	Au	Ag	Ta	W	Mo	Hf	Ti
材料	構造	格子定数 (nm)	0.392	0.389	0.408	0.41	0.33	0.316	0.315	0.303	0.295
MgO	NaCl	0.42198	7.65% (ConC)	8.45% (ConC)	3.43% (ConC)	2.92% (ConC)	9.58% (R45)	5.57% (R45)	5.27% (R45)	1.56% (R45)	-
MnO	NaCl	0.4508	15.00% (ConC)	15.89% (ConC)	10.49% (ConC)	9.95% (ConC)	3.4% (R45)	0.87% (R45)	1.19% (R45)	5.16% (R45)	-
AlN	NaCl	0.3956	0.92% (ConC)	1.70% (ConC)	3.04% (ConC)	3.51% (ConC)	15.23% (R45)	11.48% (R45)	11.2% (R45)	7.71% (R45)	-
Al ₂ O ₃	コランダム	0.47589	0.88%	0.11%	4.76%	5.23%	1.97%	6.49%	6.83%	11.20%	6.86%
Ti ₂ O ₃	コランダム	0.5146	7.19%	8.01%	2.98%	2.48%	10.27%	15.15%	15.52%	20.05%	0.71%
MgAl ₂ O ₄	スピネル	0.79783	1.76%	2.55%	2.23%	2.70%	-	-	-	-	-
TiO ₂	ルチル	0.4593	-	-	-	-	1.58%	2.78%	3.10%	7.15%	-

[0115] またスピントルク配線 20 の成膜条件は、スパッタリングのパワーを

低く設定する。スパッタリングのパワーは、ターゲットと被成膜体との距離、電位差等によって制御される。スパッタリングのパワーが低いと、被成膜体に飛来したイオンのエネルギーが低くなり、エネルギー的に安定な箇所凝集し、スピン軌道トルク配線20のエピタキシャル成長が可能となる。

[0116] 最後に、スピン軌道トルク配線20上に第1強磁性層1を成膜する。第1強磁性層1の成膜条件は特に問わない。

[0117] (スピン軌道トルク型磁化回転素子の動作)

次いで、スピン軌道トルク型磁化回転素子100の動作について説明する。図1に示すように、スピン軌道トルク配線20に電流Iを流すと、スピンホール効果により第1スピンS1が第1強磁性層1に注入される。

[0118] スピン軌道トルク配線20は、第1面20aに複数のドメイン(例えば、第1ドメイン21、第2ドメイン22A、第3ドメイン22B)を有する(図10参照)。複数のドメインのそれぞれは、結晶の配向方向が異なる。結晶のDOS(Density Of States)は、その配向方向によって異なる。第1スピンS1の発生量は、DOSに依存する。例えば、第1スピンS1の発生量は、第1ドメイン21と第2ドメイン22Aと第3ドメイン22Bとでそれぞれ異なる。

[0119] 第1スピンS1は、第1強磁性層1の磁化にスピン軌道トルク(SOT)を与える。第1強磁性層1の磁化は、スピン軌道トルク(SOT)を受けて回転または反転する。第1スピンS1の発生量が異なるため、第1強磁性層1の磁化が受けるSOTの大きさは、第1ドメイン21の近傍と第2ドメイン22Aの近傍と第3ドメイン22Bの近傍とで、それぞれ異なる。

[0120] 例えば、第1ドメイン21近傍、第2ドメイン22A近傍、第3ドメイン22B近傍の順で、磁化が受けるSOTの大きさが大きいとする。スピン軌道トルク配線20に流す電流Iの電流密度が小さい場合、第1強磁性層1の磁化は、第1ドメイン21近傍、第2ドメイン22A近傍及び第3ドメイン22B近傍のいずれにおいても反転しない(以下、「第1状態」という)。スピン軌道トルク配線20に流す電流Iの電流密度を徐々に高めていくと、

第1強磁性層1の磁化は、第1ドメイン21近傍、第2ドメイン22A近傍、第3ドメイン22B近傍の順で反転する。第1ドメイン21近傍の磁化のみが磁化反転した状態を「第2状態」、第1ドメイン21及び第2ドメイン22A近傍の磁化が磁化反転した状態を「第3状態」、第1ドメイン21、第2ドメイン22A及び第3ドメイン22B近傍の磁化が磁化反転した状態を「第4状態」とする。スピン軌道トルク配線20に流す電流Iの電流密度をさらに高めると、第1強磁性層1の磁化は、全て磁化反転する（以下、「第5状態」という）。

[0121] 上述のように、スピン軌道トルク型磁化回転素子100は、第1状態から第5状態の異なる磁化状態を、スピン軌道トルク配線20に流す電流Iの電流密度の制御により実現できる。スピン軌道トルク型磁化回転素子100は、後述するスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子に用いられる。スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子は、磁化状態の変化を抵抗値として記録する。すなわち、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子100によれば、多値で情報を記録することができるスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子を実現できる。

[0122] スピン軌道トルク型磁化回転素子100は、磁気抵抗効果素子としての用途に限られず、他の用途にも適用できる。他の用途としては、例えば、上記のスピン流磁化回転素子を各画素に配設して、磁気光学効果を利用して入射光を空間的に変調する空間光変調器においても用いることができる。また例えば、異常ホール効果を利用して、スピン軌道トルク型磁化回転素子100単独で抵抗値変化を読み出してもよい。スピン軌道トルク型回転素子は、磁化が反転する場合に、特にスピン軌道トルク型磁化反転素子と言われる。

[0123] 以上、第1実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子100の一例について詳述したが、本発明の趣旨から逸脱しない範囲内で、構成の付加、省略、置換、及びその他の変更が可能である。

[0124] (変形例1)

図11は、変形例1にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子101のス

ピン軌道トルク配線 2 0' と下地層 3 0' との界面近傍を拡大した断面図である。変形例 1 は、スピン軌道トルク配線 2 0' 及び下地層 3 0' の結晶構造が、図 2 に示す構成と異なる。図 2 と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省く。

[0125] スピン軌道トルク配線 2 0' は、第 1 ドメイン 2 1 と他の領域 2 2 とを有する。図 1 1 に示す他の領域 2 2 は、第 2 ドメイン 2 2 A と第 3 ドメイン 2 2 B と非結晶部 A m とを有する。

[0126] 非結晶部 A m は、T E M で結晶の配列が明確に確認できない部分である。T E M は、観測面から 2 0 n m (原子 1 0 層から 2 0 層分) 程度の奥行き方向の原子の配列まで測定する。観測面から奥行き方向への原子の配列が乱れている場合、T E M は原子の配列面を明確に特定できない。非結晶部 A m は、原子の配列面が特定できないため、結晶配向軸も規定できない。

[0127] 図 1 2 は、変形例 1 にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子 1 0 1 の平面図である。図 1 0 において、スピン軌道トルク配線 2 0' の第 1 面 2 0' a の結晶状態は、簡単のため第 1 強磁性層 1 と重なる位置のみで図示した。

[0128] 第 1 ドメイン 2 1、第 2 ドメイン 2 2 A、第 3 ドメイン 2 2 B 及び非結晶部 A m は、z 方向からの平面視で、第 1 強磁性層 1 と重なる位置にある。第 1 ドメイン 2 1、第 2 ドメイン 2 2 A、第 3 ドメイン 2 2 B は、粒界で区切られる。非結晶部 A m は、粒界で区切られた部分以外の領域を占める。

[0129] スピン軌道トルク配線 2 0' は、第 1 面 2 0' a に複数の結晶状態を有する。第 1 ドメイン 2 1、第 2 ドメイン 2 2 A、第 3 ドメイン 2 2 B 及び非結晶部 A m は、それぞれ結晶状態が異なる。第 1 スピン S 1 の発生量は、例えば、第 1 ドメイン 2 1 と第 2 ドメイン 2 2 A と第 3 ドメイン 2 2 B と非結晶部 A m とで、それぞれ異なる。

[0130] 第 1 スピン S 1 は、第 1 強磁性層 1 の磁化にスピン軌道トルク (S O T) を与える。第 1 強磁性層 1 の磁化は、スピン軌道トルク (S O T) を受けて回転または反転する。第 1 スピン S 1 の発生量が異なるため、第 1 強磁性層 1 の磁化が受ける S O T の大きさは、第 1 ドメイン 2 1 の近傍と、第 2 ドメ

イン 2 2 A の近傍と、第 3 ドメイン 2 2 B の近傍と、非結晶部 A m の近傍と、でそれぞれ異なる。

[0131] 従って、変形例 1 にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子 1 0 1 は、複数の異なる磁化状態を実現できる。すなわち、変形例 1 にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子 1 0 1 によれば、多値で情報を記録できるスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子を実現できる。

[0132] また変形例 1 では、結晶配向軸の異なる複数のドメインと非結晶部とが共存する例を示した。この例に限られず、同一の結晶配向軸を有するドメインが、非結晶部の中に点在していてもよい。

[0133] (変形例 2)

図 1 3 は、変形例 2 にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子 1 0 2 の断面図である。変形例 2 は、第 1 強磁性層 1 1 の結晶構造が、第 1 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子 1 0 0 と異なる。第 1 実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子 1 0 0 と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省く。

[0134] 第 1 強磁性層 1 1 は、結晶配向軸が揃った複数のドメインを有する。第 1 強磁性層 1 1 は、例えば、第 1 ドメイン 1 1 A、第 2 ドメイン 1 1 B、第 3 ドメイン 1 1 C を有する (図 1 3 参照)。第 1 強磁性層 1 1 の複数のドメインのうちのいずれかは、他のドメインと結晶配向方向が異なる。例えば、第 1 ドメイン 1 1 A と、第 2 ドメイン 1 1 B と、第 3 ドメイン 1 1 C とは、それぞれ異なる結晶配向軸を有する。各ドメインの間には、粒界が存在する。

[0135] 第 1 強磁性層 1 の磁化は、スピン軌道トルク (SOT) を受けて回転または反転する。例えば、スピン軌道トルク配線 2 0 の第 1 ドメイン 2 1 からスピンの注入され、第 1 強磁性層 1 の第 1 ドメイン 1 1 A が磁化反転する。第 1 ドメイン 1 1 A の磁化反転は、第 1 強磁性層 1 内に伝搬する。各ドメイン間の粒界は、磁化反転の伝播を阻害する。第 1 ドメイン 1 1 A の磁化反転は、第 2 ドメイン 1 1 B 及び第 3 ドメイン 1 1 C に伝搬しにくくなる。

[0136] 換言すると、第 1 強磁性層 1 1 の磁化反転は、ドメイン毎で留まる。つま

り、第1強磁性層11が複数の磁化状態を維持しやすくなる。第1強磁性層11が複数の磁化状態を取りうることは、多値での情報記録に結び付く。

[0137] 第1強磁性層11に複数のドメインを形成するためには、第1強磁性層11を構成する材料及び第1強磁性層11の成膜条件を制御する。例えば、第1強磁性層11に粒成長しやすい材料を用いる。また例えば、第1強磁性層11を斜め方向からスパッタする。また第1強磁性層11の成膜条件を成膜途中で変更したり、フラッシングを行ったり、アニール後に急冷等をしてよい。

[0138] (変形例3)

また図14は、変形例3にかかるスピン軌道トルク型磁化回転素子103の断面図である。変形例3は、第1強磁性層11'の結晶構造が、変形例2と異なる。変形例2と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省く。

[0139] 第1強磁性層11'は、結晶配向軸が揃った複数のドメインを有する。第1強磁性層11'は、例えば、第1ドメイン11'A、第2ドメイン11'B、第3ドメイン11'Cを有する。

[0140] 第1ドメイン11'A、第2ドメイン11'B、第3ドメイン11'Cのそれぞれは、下地層30からスピン軌道トルク配線20を介して連続した結晶配向軸を有する。例えば、下地層30の第1ドメイン31と、スピン軌道トルク配線20の第1ドメイン21と、第1強磁性層11'の第1ドメイン11'Aは、互いに結晶構造が連続し、同一の結晶配向軸を有する。

[0141] 第1ドメイン11'Aは、第1ドメイン21から主としてスピンの注入される。第2ドメイン11'Bは、第2ドメイン22Aから主としてスピンの注入される。第3ドメイン11'Cは、第3ドメイン22Bから主としてスピンの注入される。第1強磁性層11'の各ドメインとスピン軌道トルク配線20の各ドメインとは、1対1で対応する関係にある。

[0142] 第1ドメイン21と第2ドメイン22Aと第3ドメイン22Bは、それぞれ第1強磁性層11'に注入するスピンの発生量が異なる。第1強磁性層1

1' は、第1スピンS1の発生量の違いに基づき、複数の磁化状態を実現できる。また第1強磁性層11'は、磁化反転が伝播する範囲がドメイン毎で制限される。

[0143] 第1強磁性層11'に注入されるスピンの量が異なる範囲と、磁化反転が伝播する範囲とが一致すると、第1強磁性層11'は複数の磁化状態をより安定して生み出すことができる。

[0144] 第1強磁性層11'の各ドメインの結晶構造を下地層30及びスピン軌道トルク配線20と連続させるためには、第1強磁性層11'の成膜条件を制御する。例えば、第1強磁性層11'の成膜時のスパッタリングのパワーを低く設定する。

[0145] (第2実施形態)

図15は、第2実施形態にかかるスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子110の断面図である。スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子110は、積層体10とスピン軌道トルク配線20と下地層30とを有する。スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子110は、図1に示すスピン軌道トルク型磁化回転素子100の第1強磁性層1の上面に、非磁性層3と第2強磁性層2とを設けたものである。図1に示すスピン軌道トルク型磁化回転素子100に代えてその他のスピン軌道トルク型磁化回転素子を用いてもよい。スピン軌道トルク型磁化回転素子100と同一の構成には、同一の符号を付し、説明を省く。

[0146] <積層体>

積層体10は、第1強磁性層1と非磁性層3と第2強磁性層2とを有する。積層体10は、一般の磁気抵抗効果素子と同様の構成である。積層体10は、非磁性層3が絶縁体からなる場合は、トンネル磁気抵抗効果(TMR: Tunneling Magnetoresistance)素子と同様の構成であり、非磁性層3が金属からなる場合は巨大磁気抵抗効果(GMR: Giant Magnetoresistance)素子と同様の構成である。

[0147] 第2強磁性層2の磁化が一方向に固定され、第1強磁性層1の磁化の向き

が相対的に変化すると、積層体 10 の z 方向の抵抗値が変化する。積層体 10 が保磁力差型（擬似スピバルブ型；Pseudo spin valve 型）の磁気抵抗効果素子の場合は、第 2 強磁性層 2 の保磁力を第 1 強磁性層 1 の保磁力よりも大きくする。積層体 10 が交換バイアス型（スピバルブ；spin valve 型）の磁気抵抗効果素子の場合は、第 2 強磁性層 2 を層間反強磁性（SAF）結合として、第 2 強磁性層 2 の磁化を第 1 強磁性層 1 に対して固定する。

[0148] 積層体 10 は、第 1 強磁性層 1、第 2 強磁性層 2 及び非磁性層 3 以外の層を有してもよい。積層体 10 は、例えば、積層体 10 の結晶性を高める第 2 下地層、キャップ層等を有してもよい。第 2 下地層は、スピン軌道トルク配線 20 と積層体 10 との間に形成される。キャップ層は、積層体 10 の上面に形成される。

[0149] 第 2 強磁性層 2 は、第 1 強磁性層 1 と同様の材料を用いることができる。第 2 強磁性層 2 の第 1 強磁性層 1 に対する保磁力をより大きくするために、第 2 強磁性層 2 に IrMn 、 PtMn などの反強磁性材料を積層してもよい。さらに、第 2 強磁性層 2 の漏れ磁場を第 1 強磁性層 1 に影響させないようにするため、第 2 強磁性層 2 をシンセティック強磁性結合の構造としてもよい。

[0150] 非磁性層 3 は、非磁性の絶縁体、半導体又は金属からなる。非磁性の絶縁体は、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 MgAl_2O_4 、およびこれらの Al 、 Si 、 Mg の一部が Zn 、 Be 等に置換された材料である。非磁性層 3 が非磁性の絶縁体からなる場合、非磁性層 3 はトンネルバリア層である。 MgO や MgAl_2O_4 は、第 1 強磁性層 1 と第 2 強磁性層 2 との間にコヒーレントトンネルを実現しやすい。非磁性の金属は、例えば、 Cu 、 Au 、 Ag 等である。さらに、非磁性の半導体は、例えば、 Si 、 Ge 、 CuInSe_2 、 CuGaSe_2 、 $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ 等である。

[0151] スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 は、非磁性層 3 を挟む 2 つの強磁性体（第 1 強磁性層 1 と第 2 強磁性層 2）の磁化状態の変化に基づいて、抵抗値が変化する。スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 は、抵抗

値に基づいて情報を記録する。上述のように、スピン軌道トルク型磁化回転素子 100 は、第 1 強磁性層 1 が複数の磁化状態を取りうる。第 1 強磁性層 1 の磁化状態が複数存在すると、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 は、第 1 強磁性層 1 の磁化状態に応じて複数の抵抗値を示す。つまり、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 は、複数の抵抗値として多値の情報を記録できる。

[0152] 「第 3 実施形態」

図 16 は、第 3 実施形態にかかる磁気メモリ 120 の平面図である。図 16 に示す磁気メモリ 120 は、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 が 3×3 のマトリックス配置をしている。図 16 は、磁気メモリの一例であり、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 の種類、数及び配置は任意である。

[0153] それぞれのスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 には、それぞれ 1 本のワードライン WL 1～WL 3 と、1 本のビットライン BL 1～BL 3、1 本のリードライン RL 1～RL 3 が接続されている。

[0154] 電流を印加するワードライン WL 1～WL 3 及びビットライン BL 1～BL 3 を選択することで、任意のスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 のスピン軌道トルク配線 20 に電流を流し、書き込み動作を行う。また電流を印加するリードライン RL 1～RL 3 及びビットライン BL 1～BL 3 を選択することで、任意のスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 の積層方向に電流を流し、読み込み動作を行う。電流を印加するワードライン WL 1～WL 3、ビットライン BL 1～BL 3、及びリードライン RL 1～RL 3 はトランジスタ等により選択できる。それぞれが多値で情報を記録できる複数のスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 にデータを記録することで、磁気メモリ 120 の高容量化を実現できる。

[0155] またスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子 110 は、“1”と“0”のデジタル信号ではなく、アナログにデータを記録できる。そのため、脳を模倣したニューロモロフィックデバイス等に磁気メモリ 120 を用いることがで

きる。

[0156] 「第4実施形態」

＜高周波磁気素子＞

図17は、第4実施形態にかかる高周波磁気素子の断面模式図である。高周波磁気素子130は、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子110と、直流電源41と、入力端子42と、出力端子43と、を備える。またスピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子110は、第2強磁性層2の非磁性層3と反対側の面に、電極44を有する。

[0157] 高周波磁気素子130の入力端子42から高周波電流が入力される。高周波電流は、高周波磁場を生み出す。またスピン軌道トルク配線20に高周波電流が流れると、純スピン流が誘起され、第1強磁性層1にスピンが注入される。第1強磁性層1の磁化は、高周波磁場及び注入されるスピンにより振動する。

[0158] 第1強磁性層1の磁化は、入力端子42から入力される高周波電流の周波数が強磁性共鳴周波数の場合に、強磁性共鳴する。第1強磁性層1の磁化が強磁性共鳴すると、磁気抵抗効果の機能部の抵抗値変化は大きくなる。この抵抗値変化は、直流電源41により直流電流又は直流電圧を印加することで、出力端子43から読み出される。

[0159] 入力端子42から入力される信号の周波数が第1強磁性層1の磁化の強磁性共鳴周波数の際には、出力端子43から出力される抵抗値変化は大きくなり、それ以外の周波数の際には、出力端子43から出力される抵抗値変化は小さくなる。この抵抗値変化の大小を利用して、高周波磁気素子は高周波フィルタとして機能する。

[0160] 高周波磁気素子130は、第1強磁性層1が様々な磁化状態を選択することで、様々な周波数を通過又は遮断する高周波フィルタとなる。

[0161] 以上、本発明の好ましい実施の形態について詳述したが、本発明は特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

符号の説明

- [0162] 1、1 1、1 1' 第1強磁性層
2 第2強磁性層
3 非磁性層
1 0 積層体
2 0、2 0' スピン軌道トルク配線
2 0 a、2 0' a、3 0 a 第1面
2 0 b 第2面
1 1 A、1 1' A、2 1、3 1 第1ドメイン
2 2 他の領域
1 1 B、1 1' B、2 2 A、3 2 A 第2ドメイン
1 1 C、1 1' C、2 2 B、3 2 B 第3ドメイン
3 0、3 0' 下地層
4 1 直流電源
4 2 入力端子
4 3 出力端子
4 4 電極
1 0 0、1 0 1、1 0 2、1 0 3 スピン軌道トルク型磁化回転素子
1 1 0 スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子
1 2 0 磁気メモリ
1 3 0 高周波磁気素子
S 1 第1スピン
S 2 第2スピン
a x 1 第1の結晶配向軸
a x 2 第2の結晶配向軸
a x 3 第3の結晶配向軸
A m 非結晶部
b 1 界面

BL 1、BL 2、BL 3 ビットライン

RL 1、RL 2、RL 3 リードライン

WL 1、WL 2、WL 3 ワードライン

請求の範囲

- [請求項1] 第1強磁性層と、
第1面が前記第1強磁性層に面し、前記第1強磁性層の積層方向からの平面視で長軸が第1方向に延びたスピン軌道トルク配線と、
前記スピン軌道トルク配線の前記第1面と反対の第2面に接する下地層と、を備え、
前記スピン軌道トルク配線は、前記積層方向からの平面視で前記第1強磁性層と重なる位置に、
第1の結晶配向軸を有する第1ドメインと、前記第1ドメインと結晶状態の異なる他の領域と、を有し、
前記第1ドメインの前記第1の結晶配向軸は、前記下地層から連続する、スピン軌道トルク型磁化回転素子。
- [請求項2] 前記他の領域は、第2の結晶配向軸を有する第2ドメインを有し、
前記第2の結晶配向軸は、前記下地層から連続し、前記第1の結晶配向軸と異なる、請求項1に記載のスピン軌道トルク型磁化回転素子。
- [請求項3] 前記他の領域は、透過型電子顕微鏡で結晶の配列を確認できない非結晶部を含む、請求項1又は2に記載のスピン軌道トルク型磁化回転素子。
- [請求項4] 前記下地層と前記第1ドメインとの界面において、前記下地層と前記第1ドメインとの格子不整合度が5%以下である、請求項1～3のいずれか一項に記載のスピン軌道トルク型磁化回転素子。
- [請求項5] 前記第1強磁性層は、結晶配向軸が揃った複数のドメインを有し、
前記複数のドメインのうちのいずれかは、他のドメインと結晶配向方向が異なる、請求項1～4のいずれか一項に記載のスピン軌道トルク型磁化回転素子。
- [請求項6] 前記複数のドメインのそれぞれは、前記下地層から前記スピン軌道トルク配線を介して結晶構造が連続する、請求項5に記載のスピン軌

道トルク型磁化回転素子。

[請求項7] 前記第1強磁性層は、前記積層方向からの平面視で、最大幅が30nm以上である、請求項1～6のいずれか一項に記載のスピントルク型磁化回転素子。

[請求項8] 前記スピントルク配線は、fcc構造の結晶構造を有し、
前記下地層は、NaCl構造、コランダム構造及びスピネル構造のうち少なくとも一つの結晶構造を有する、請求項1～7のいずれか一項に記載のスピントルク型磁化回転素子。

[請求項9] 前記スピントルク配線は、bcc構造の結晶構造を有し、
前記下地層は、NaCl構造、コランダム構造及びルチル構造のうち少なくとも一つの結晶構造を有する、請求項1～7のいずれか一項に記載のスピントルク型磁化回転素子。

[請求項10] 前記スピントルク配線は、hcp構造の結晶構造を有し、
前記下地層は、コランダム構造の結晶構造を有する、請求項1～7のいずれか一項に記載のスピントルク型磁化回転素子。

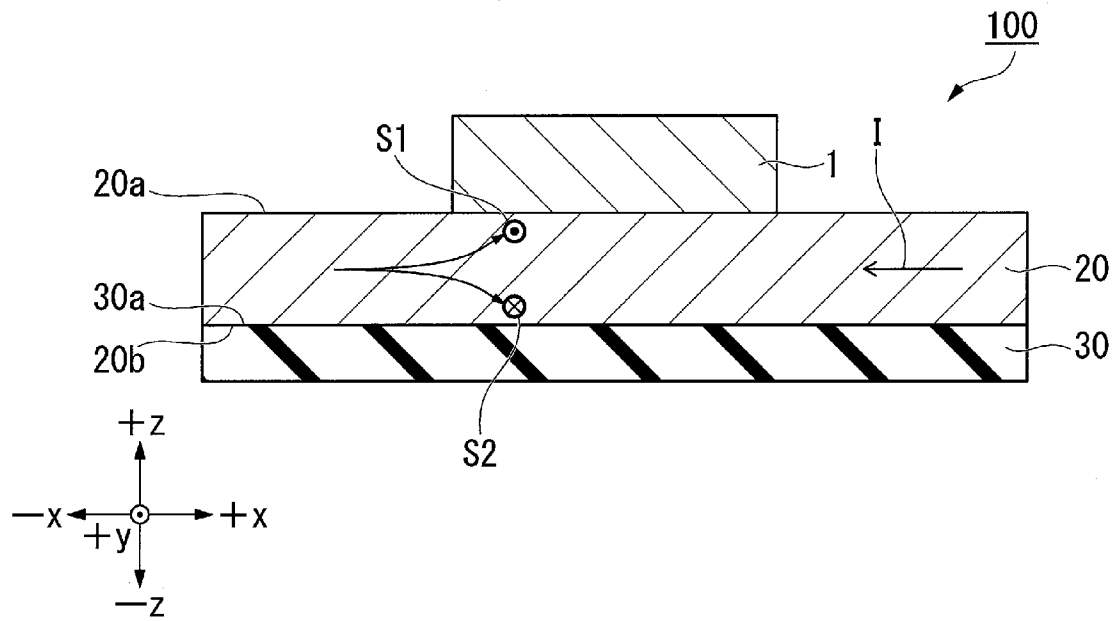
[請求項11] 請求項1～10のいずれか一項に記載のスピントルク型磁化回転素子と、

前記第1強磁性層と対向する第2強磁性層と、
前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性層と、
を備える、スピントルク型磁気抵抗効果素子。

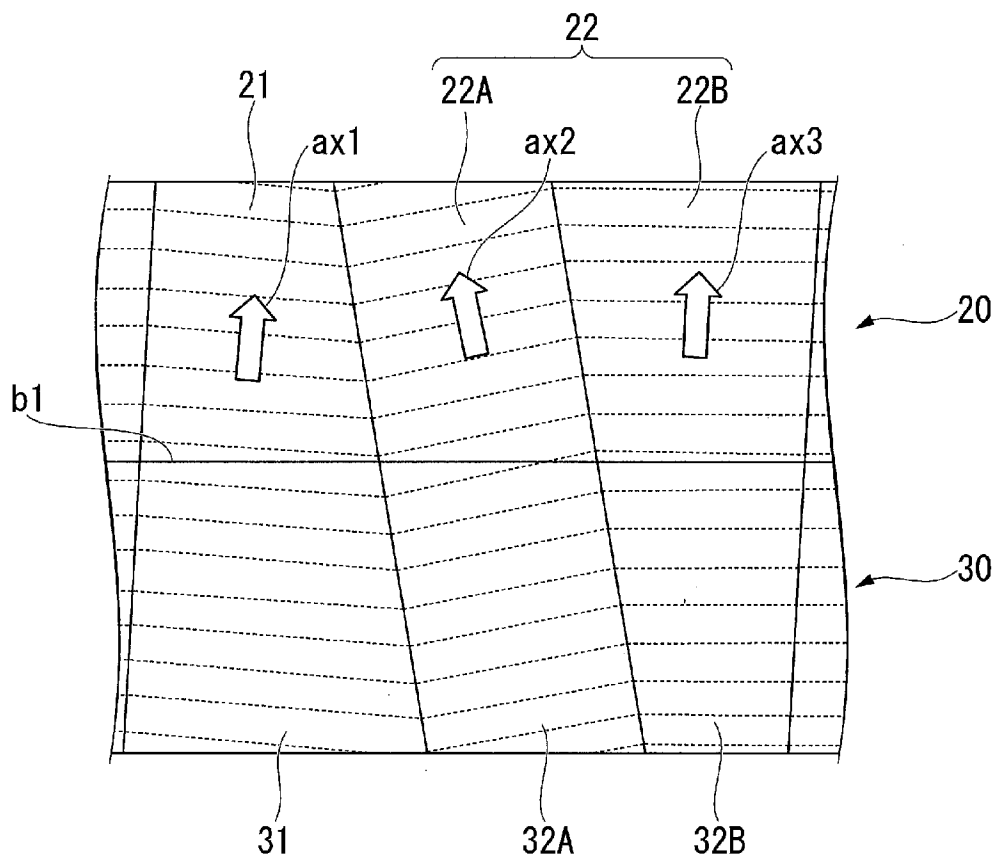
[請求項12] 請求項11に記載のスピントルク型磁気抵抗効果素子を複数備えた磁気メモリ。

[請求項13] 請求項1～10のいずれか一項に記載のスピントルク型磁化回転素子を備えた、高周波磁気素子。

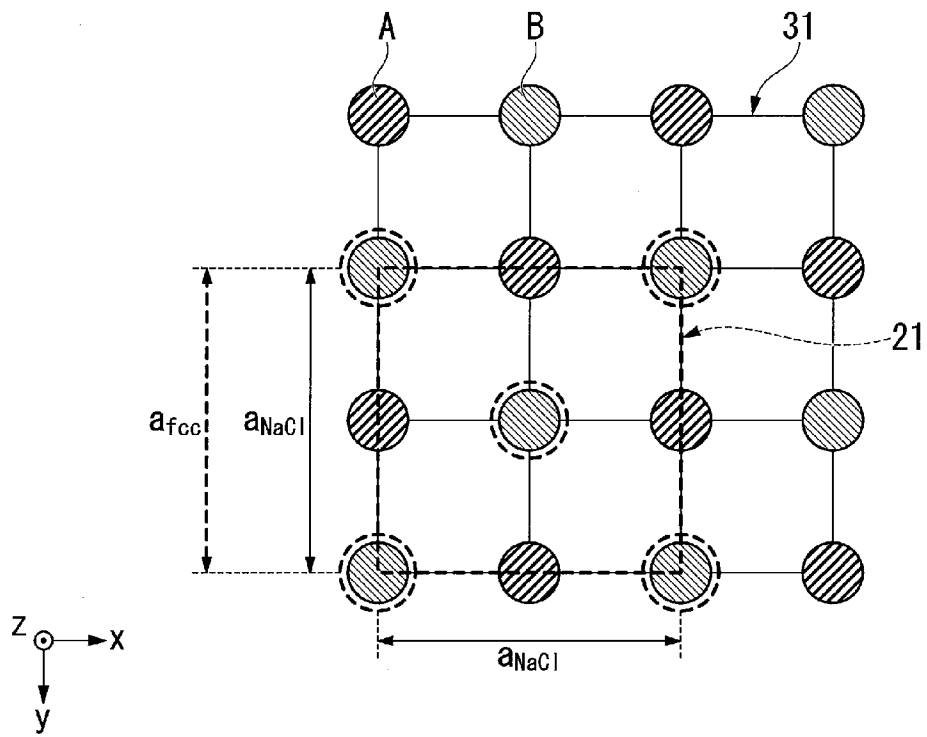
[図1]



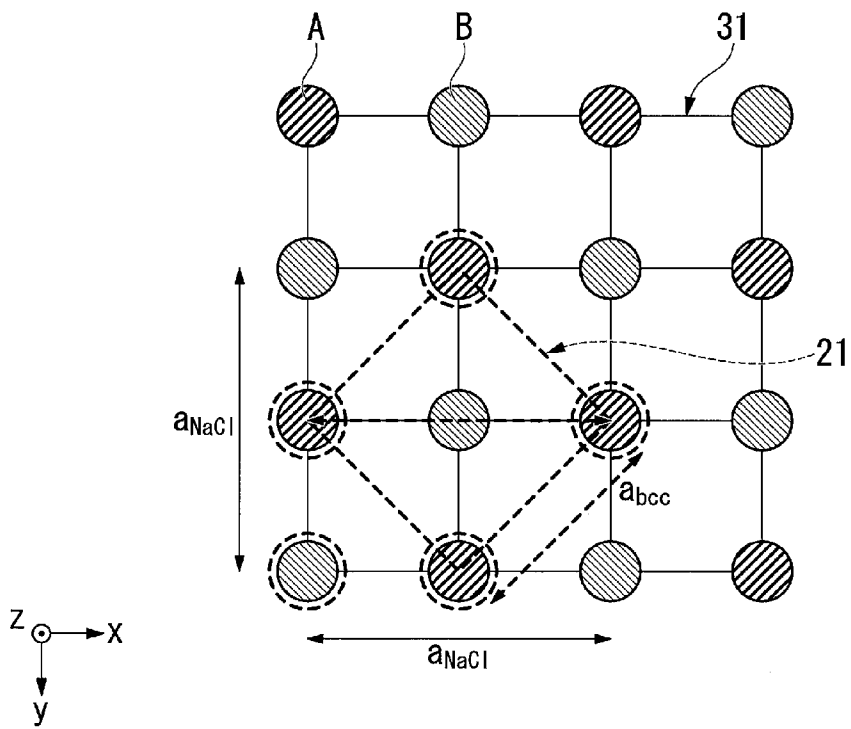
[図2]



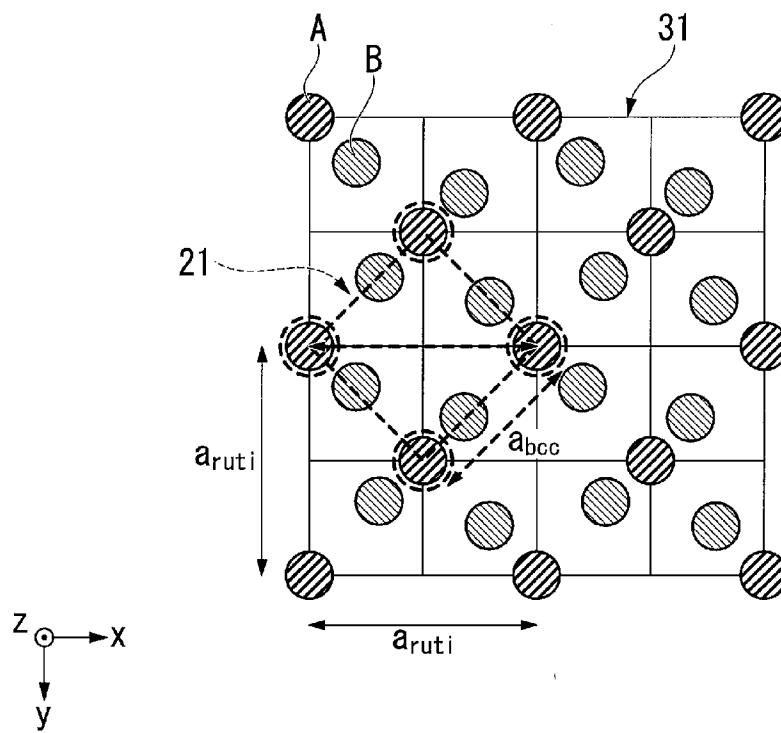
[図3]



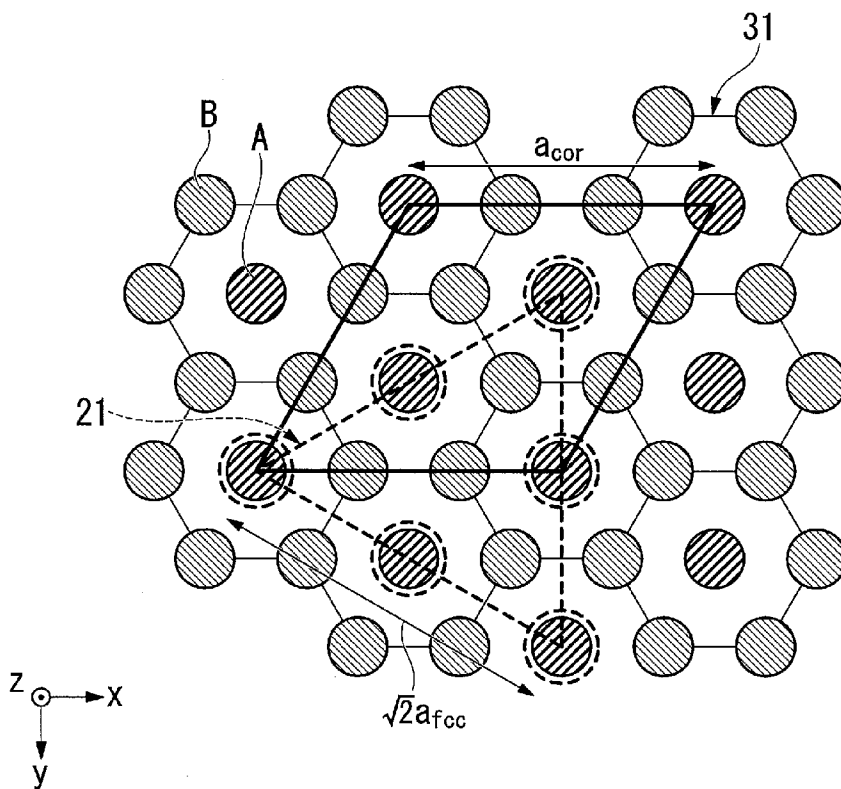
[図4]



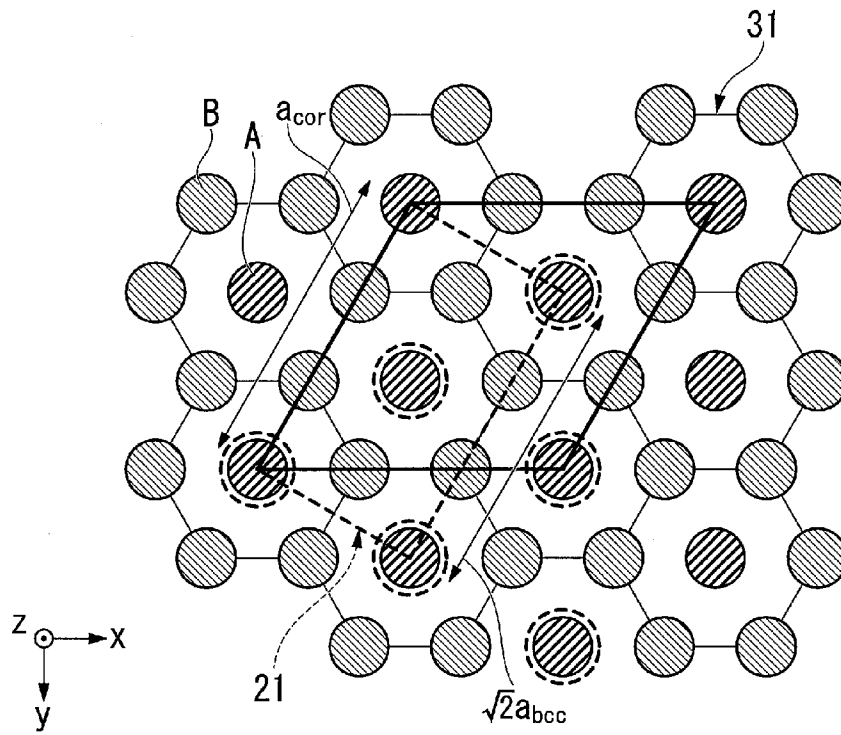
[図5]



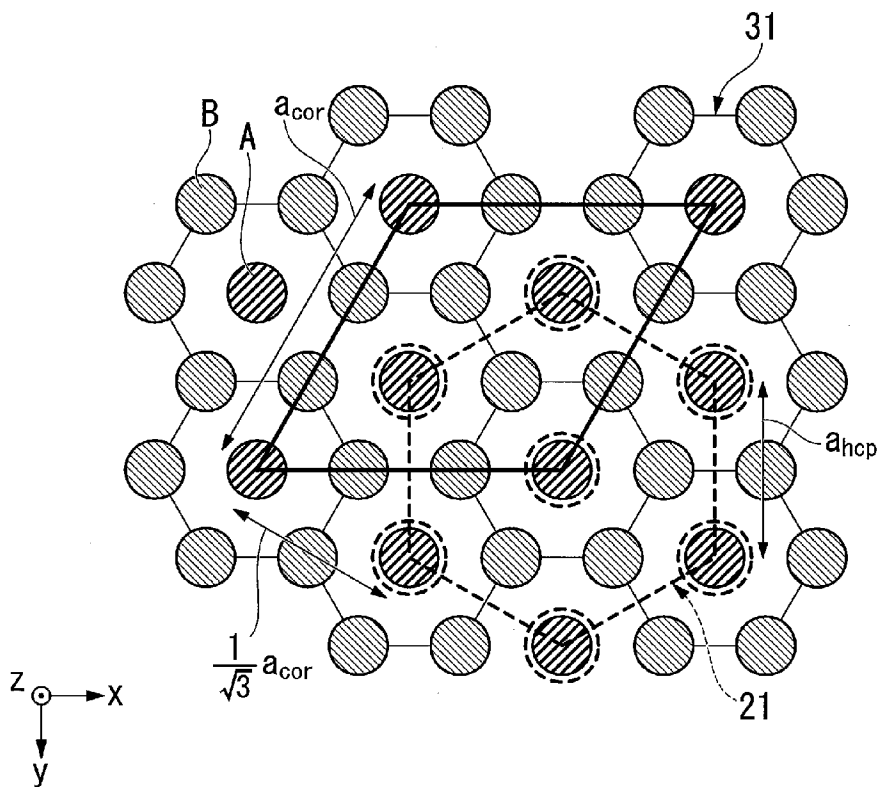
[図6]



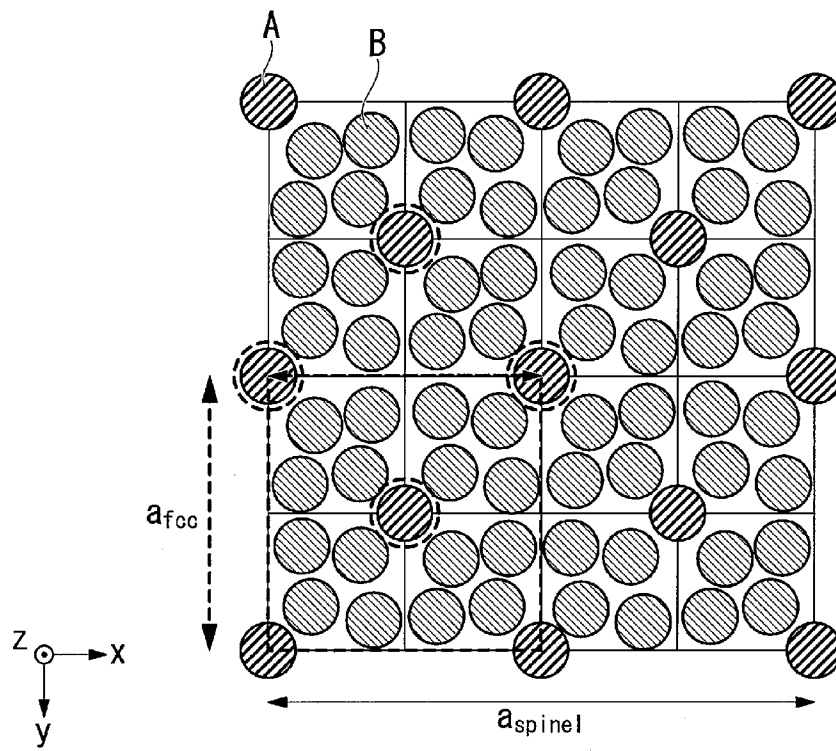
[図7]



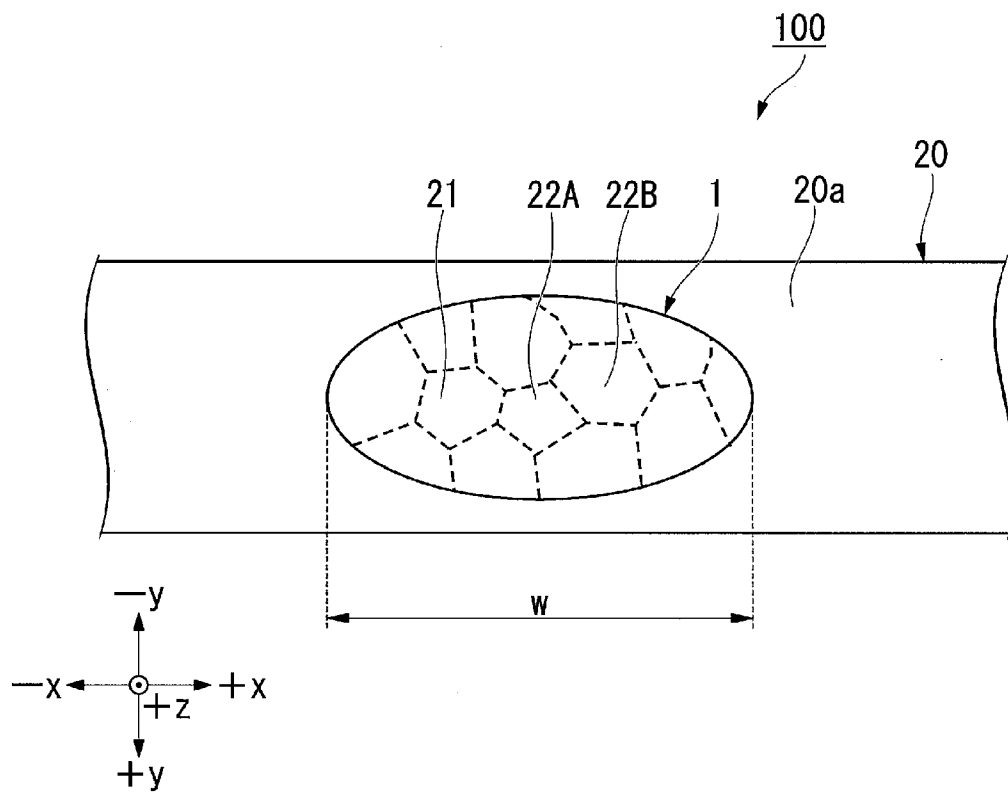
[図8]



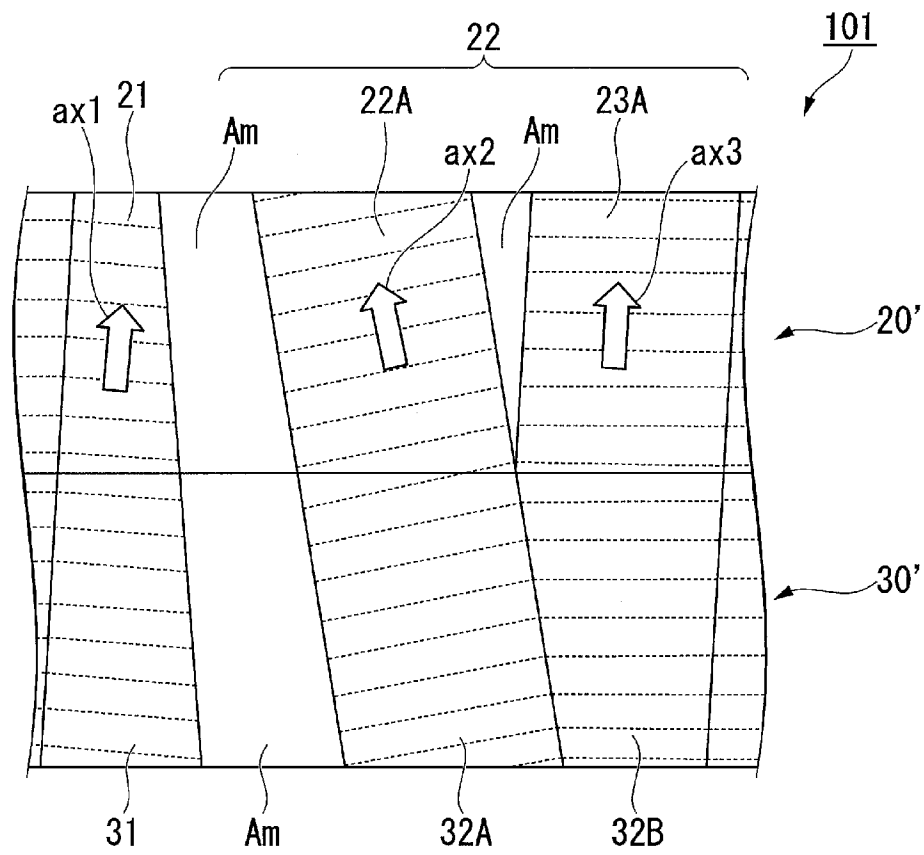
[図9]



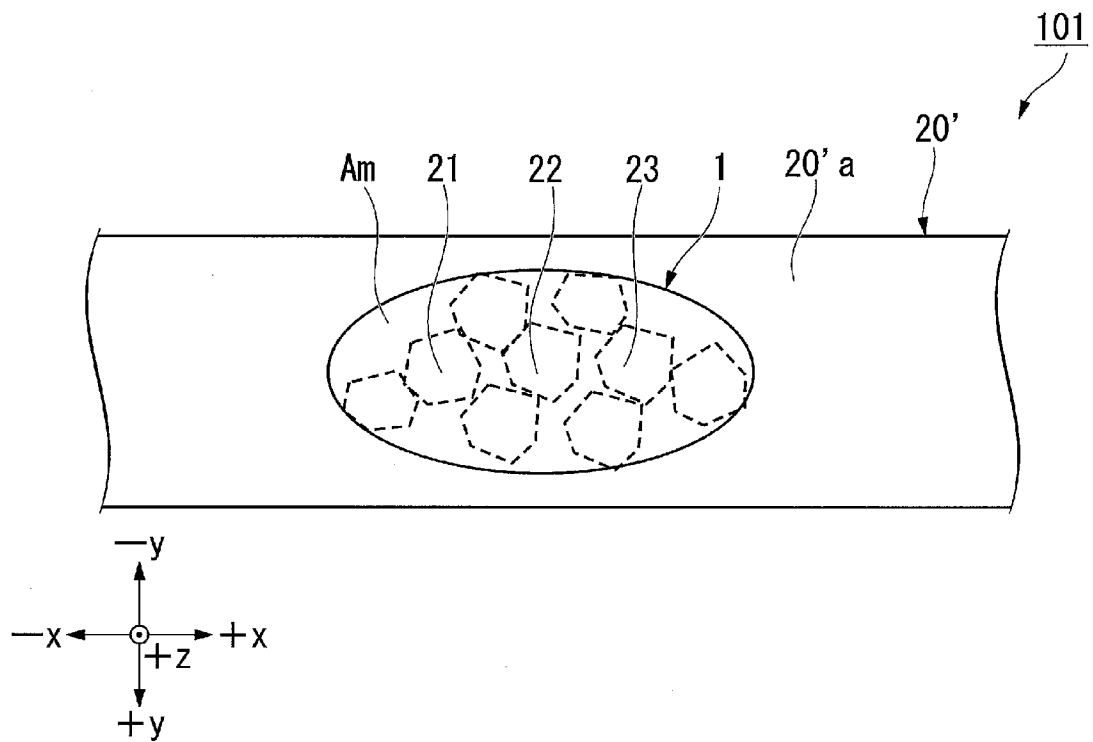
[図10]



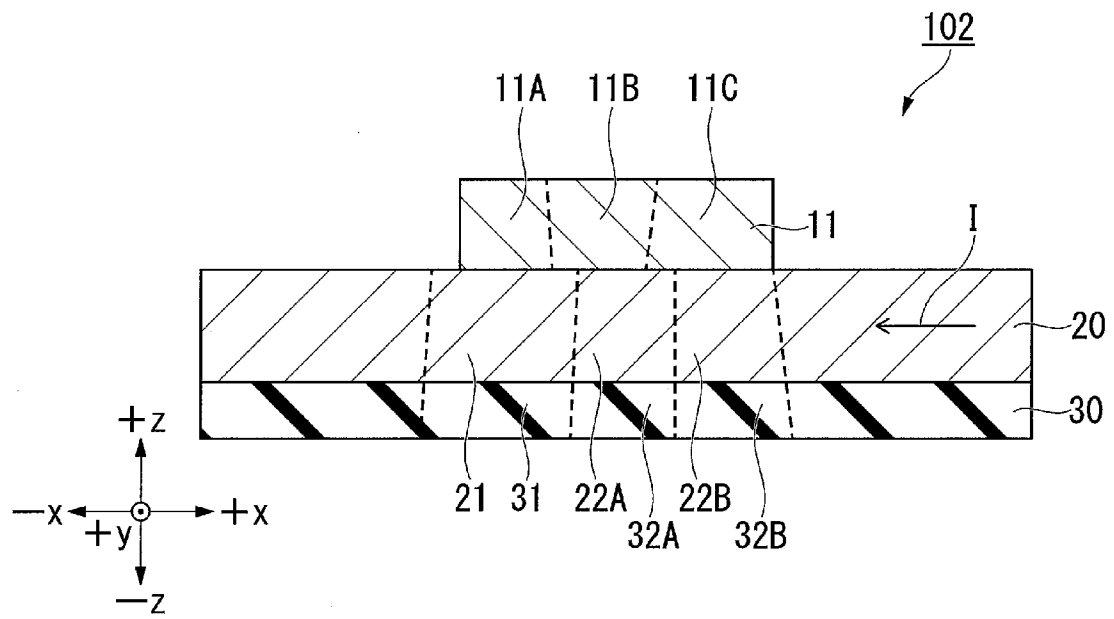
[図11]



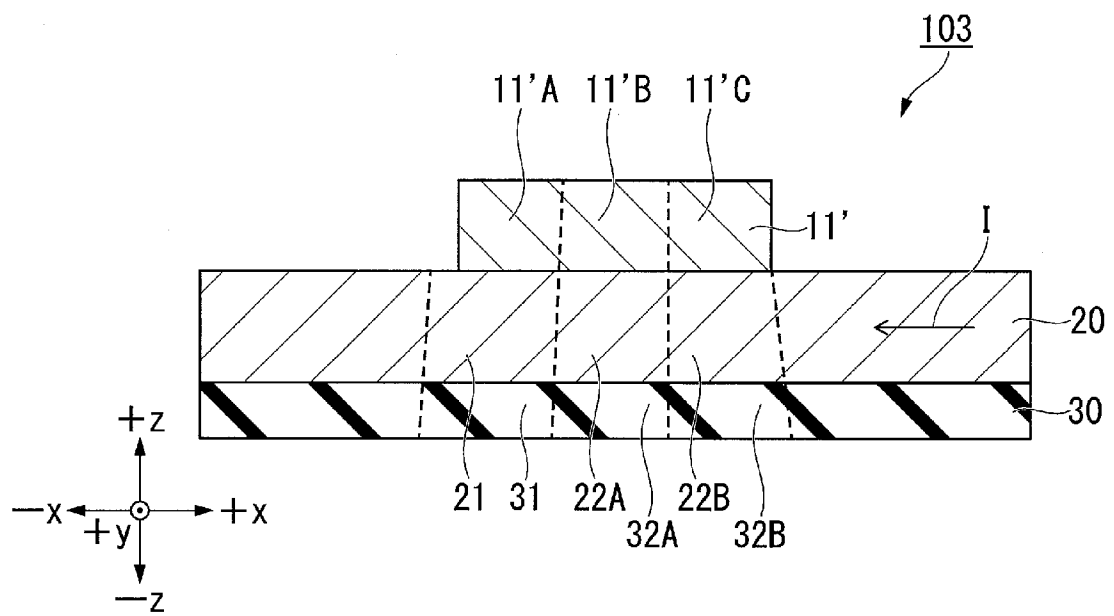
[図12]



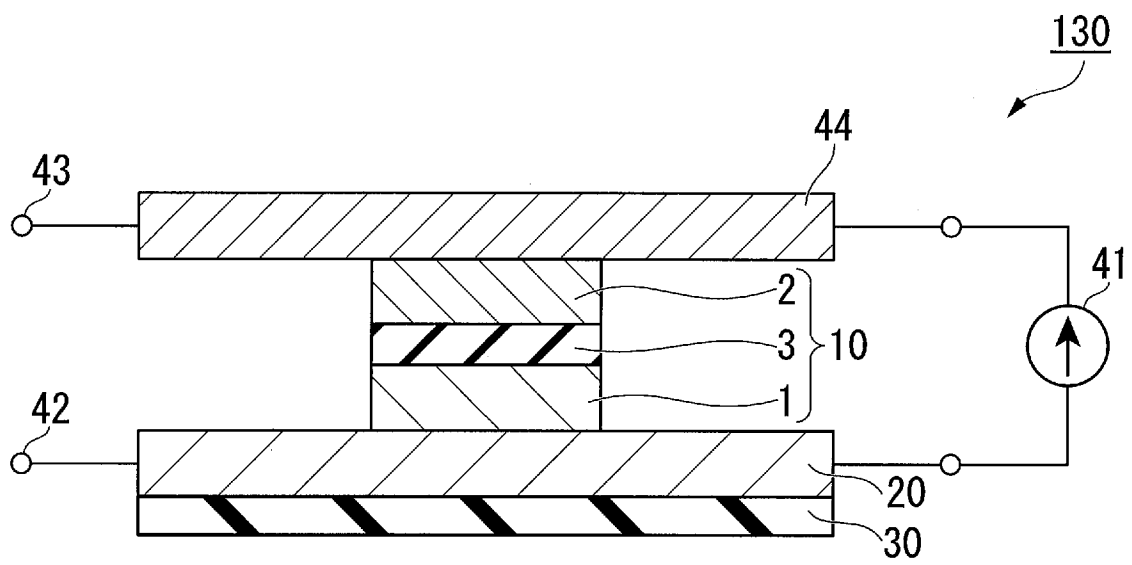
[図13]



[図14]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/044216

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L43/08 (2006.01) i, H01L21/8239 (2006.01) i, H01L27/105 (2006.01) i, H01L29/82 (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)

Int.Cl. H01L43/08, H01L21/8239, H01L27/105, H01L29/82

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2018-073934 A (TDK CORPORATION) 10 May 2018, paragraphs [0030]-[0110], fig. 1-11 & US 2018/0123028 A1, paragraphs [0042]-[0122], fig. 1-11 & CN 108011039 A	1-13
Y	JP 2018-093059 A (TDK CORPORATION) 14 June 2018, paragraphs [0047]-[0069], fig. 5 & US 2018/0159026 A1, paragraphs [0075]-[0107], fig. 5	1-13



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
29.01.2019

Date of mailing of the international search report
12.02.2019

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/JP2018/044216

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/180701 A1 (TDK CORPORATION) 04 October 2018, paragraphs [0025]-[0054], fig. 1 (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L43/08(2006.01)i, H01L21/8239(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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（I P C））

Int.Cl. H01L43/08, H01L21/8239, H01L27/105, H01L29/82

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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）

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	JP 2018-073934 A（TDK株式会社）2018.05.10, [0030]-[0110], 図 1-11 & US 2018/0123028 A1, [0042]-[0122], FIGS. 1-11 & CN 108011039 A	1-13
Y	JP 2018-093059 A（TDK株式会社）2018.06.14, [0047]-[0069], 図 5 & US 2018/0159026 A1, [0075]-[0107], FIG. 5	1-13

☒ 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

29.01.2019

国際調査報告の発送日

12.02.2019

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）

加藤 俊哉

5 F

9554

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

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
A	WO 2018/180701 A1 (T D K株式会社) 2018. 10. 04, [0025]-[0054], 図 1 (ファミリーなし)	1-13