

(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
2022年6月16日(16.06.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/123726 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/82 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/046050

(22) 国際出願日: 2020年12月10日(10.12.2020)

(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: 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).

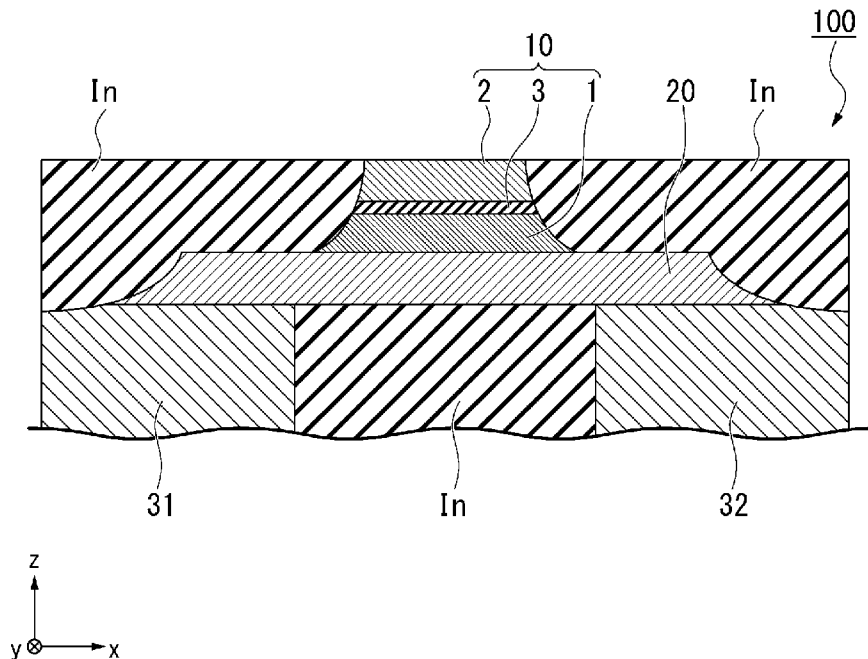
(74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.);
〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

(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, IT, 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, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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,

(54) Title: MAGNETIZATION ROTATION ELEMENT, MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC MEMORY, AND PRODUCTION METHOD FOR WIRING

(54) 発明の名称: 磁化回転素子、磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び配線の製造方法



(57) Abstract: This magnetization rotation element comprises spin-orbit torque wiring and a first ferromagnetic layer layered on the spin-orbit torque wiring, wherein the spin-orbit torque wiring includes a compound having a pyrochlore structure.

(57) 要約: この磁化回転素子は、スピン軌道トルク配線と、前記スピン軌道トルク配線に積層された第1強磁性層と、を備え、前記スピン軌道トルク配線は、パイロクロア構造の化合物を含む。

[続葉有]



WO 2022/123726 A1

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)）

明 細 書

発明の名称：

磁化回転素子、磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び配線の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、磁化回転素子、磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ及び配線の製造方法に関する。

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、非磁性層に絶縁層（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）素子は、磁気抵抗効果素子として知られている。磁気抵抗効果素子は、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）への応用が可能である。

[0003] MRAMは、磁気抵抗効果素子が集積された記憶素子である。MRAMは、磁気抵抗効果素子における非磁性層を挟む二つの強磁性層の互いの磁化の向きが変化すると、磁気抵抗効果素子の抵抗が変化するという特性を利用してデータを読み書きする。強磁性層の磁化の向きは、例えば、電流が生み出す磁場を利用して制御する。また例えば、強磁性層の磁化の向きは、磁気抵抗効果素子の積層方向に電流を流すことで生ずるスピントランスファートルク（STT）を利用して制御する。

[0004] STTを利用して強磁性層の磁化の向きを書き換える場合、磁気抵抗効果素子の積層方向に電流を流す。書き込み電流は、磁気抵抗効果素子の特性劣化の原因となる。

[0005] 近年、書き込み時に磁気抵抗効果素子の積層方向に電流を流さなくてもよい方法に注目が集まっている（例えば、特許文献1）。その一つの方法が、スピン軌道トルク（SOT）を利用した書き込み方法である。SOTは、スピン軌道相互作用によって生じたスピン流又は異種材料の界面におけるラシュバ効果により誘起される。磁気抵抗効果素子内にSOTを誘起するための電

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。すなわち、磁気抵抗効果素子の積層方向に電流を流す必要がなく、磁気抵抗効果素子の長寿命化が期待されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2017-216286号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 磁気メモリは、集積された複数の磁気抵抗効果素子を有する。それぞれの磁気抵抗効果素子に印加する電流量が大きくなると、磁気メモリの消費電力が増加する。それぞれの磁気抵抗効果素子に印加する電流量を小さくし、磁気メモリの消費電力を抑制することが求められている。

[0008] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、少ない電流で動作する磁化回転素子、磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び配線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

[0009] 本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

[0010] (1) 第1の態様にかかる磁化回転素子は、スピン軌道トルク配線と、前記スピン軌道トルク配線に積層された第1強磁性層と、を備え、前記スピン軌道トルク配線は、パイロクロア構造の化合物を含む。

[0011] (2) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記化合物は、酸化物であってもよい。

[0012] (3) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記酸化物は、化学量論組成で $R_2Ir_2O_7$ の組成式で表され、前記組成式におけるRは、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素であってもよい。

[0013] (4) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記組成式におけるRは、

第1元素を含み、前記第1元素は、PrとNdとのうち少なくとも一方であってもよい。

[0014] (5) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記組成式におけるRは、第1元素と第2元素とを含み、前記第1元素は、PrとNdとのうち少なくとも一方であり、前記第2元素は、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素であってもよい。

[0015] (6) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第2元素の組成比は、前記第1元素の組成比より少なくてもよい。

[0016] (7) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記酸化物は、酸素欠損していてもよい。

[0017] (8) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記スピン軌道トルク配線は、電気抵抗率が $1\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上であってもよい。

[0018] (9) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記スピン軌道トルク配線は、電気抵抗率が $10\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下であってもよい。

[0019] (10) 上記態様にかかる磁化回転素子は、前記第1強磁性層と前記スピン軌道トルク配線との間に、第1中間層を有してもよく、前記第1中間層は、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む。

[0020] (11) 上記態様にかかる磁化回転素子は、前記第1強磁性層と前記スピン軌道トルク配線との間に、第2中間層を有してもよく、前記第2中間層は、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む。

[0021] (12) 上記態様にかかる磁化回転素子は、前記第1強磁性層と前記スピン軌道トルク配線との間に、第1中間層と第2中間層とをそれぞれ1層以上有してもよく、前記第1中間層は、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含み、前記第2中間層は、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む。

[0022] (13) 第2の態様にかかる磁気抵抗効果素子は、上記態様にかかる磁化回転素子と、前記磁化回転素子の前記第1強磁性層に接する非磁性層と、前記

第1強磁性層と共に前記非磁性層を間に挟む第2強磁性層と、を備える。

[0023] (14) 第3の態様にかかる磁気メモリは、上記態様にかかる磁気抵抗効果素子を複数備える。

[0024] (15) 第4の態様にかかる配線の製造方法は、酸化物をRFスパッタリングすると同時に又は後に、金属をDCスパッタリングし、パイロクロア構造を含む酸化物層を成膜する第1成膜工程を有する。

[0025] (16) 上記態様にかかる配線の製造方法において、前記酸化物は、 R_2O_3 (Rは、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素)であり、前記金属は、Irであってもよい。

[0026] (17) 上記態様にかかる配線の製造方法において、前記第1成膜工程を酸素雰囲気中で行ってもよい。

[0027] (18) 上記態様にかかる配線の製造方法は、前記成膜工程の後に、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む重金属層を成膜する第2成膜工程を有してもよく、前記第2成膜工程におけるガス圧は、前記第1成膜工程におけるガス圧より高い。

[0028] (19) 上記態様にかかる配線の製造方法は、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む重金属層を成膜する第2成膜工程と、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む層を成膜する第3成膜工程とを、前記第1成膜工程の後にさらに有してもよく、前記第2成膜工程と前記第3成膜工程とを交互に行う。

発明の効果

[0029] 本発明にかかる磁化回転素子、磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び配線の製造方法は、動作に必要な電流量を低減できる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]第1実施形態にかかる磁気メモリの回路図である。

[図2]第1実施形態にかかる磁気メモリの特徴部分の断面図である。

[図3]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図4]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の平面図である。

[図5]パイロクロア構造の結晶構造を示す図である。

[図6]第1変形例にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図7]第2変形例にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図8]第3変形例にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図9]第4変形例にかかる磁気抵抗効果素子の断面図である。

[図10]第2実施形態に係る磁化回転素子の断面図である。

発明を実施するための形態

[0031] 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、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。

[0032] まず方向について定義する。後述する基板Sub（図2参照）の一面の一方方向をx方向、x方向と直交する方向をy方向とする。x方向は、例えば、第1導電層31から第2導電層32へ向かう方向である。z方向は、x方向及びy方向と直交する方向である。z方向は、各層が積層される積層方向の一例である。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。

[0033] 本明細書で「x方向に延びる」とは、例えば、x方向、y方向、及びz方向の各寸法のうち最小の寸法よりもx方向の寸法が大きいことを意味する。他の方向に延びる場合も同様である。また本明細書で「接続」とは、物理的に接続される場合に限定されない。例えば、二つの層が物理的に接している場合に限らず、二つの層の間が他の層を間に挟んで接続している場合も「接続」に含まれる。

[0034] 「第1実施形態」

図1は、第1実施形態にかかる磁気メモリ200の構成図である。磁気メモリ200は、複数の磁気抵抗効果素子100と、複数の書き込み配線WL

と、複数の共通配線C Lと、複数の読出し配線R Lと、複数の第1スイッチング素子S w 1と、複数の第2スイッチング素子S w 2と、複数の第3スイッチング素子S w 3と、を備える。磁気メモリ200は、例えば、磁気抵抗効果素子100がアレイ状に配列された磁気アレイである。

[0035] 書き込み配線W Lはそれぞれ、電源と1つ以上の磁気抵抗効果素子100とを電氣的に接続する。共通配線C Lはそれぞれ、データの書き込み時及び読み出し時の両方で用いられる配線である。共通配線C Lはそれぞれ、基準電位と1つ以上の磁気抵抗効果素子100とを電氣的に接続する。基準電位は、例えば、グラウンドである。共通配線C Lは、複数の磁気抵抗効果素子100のそれぞれに設けられてもよいし、複数の磁気抵抗効果素子100に亘って設けられてもよい。読出し配線R Lはそれぞれ、電源と1つ以上の磁気抵抗効果素子100とを電氣的に接続する。電源は、使用時に磁気メモリ200に接続される。

[0036] それぞれの磁気抵抗効果素子100はそれぞれ、第1スイッチング素子S w 1、第2スイッチング素子S w 2、第3スイッチング素子S w 3に接続されている。第1スイッチング素子S w 1は、磁気抵抗効果素子100と書き込み配線W Lとの間に接続されている。第2スイッチング素子S w 2は、磁気抵抗効果素子100と共通配線C Lとの間に接続されている。第3スイッチング素子S w 3は、複数の磁気抵抗効果素子100に亘る読出し配線R Lに接続されている。

[0037] 第1スイッチング素子S w 1及び第2スイッチング素子S w 2をONにすると、所定の磁気抵抗効果素子100に接続された書き込み配線W Lと共通配線C Lとの間に書き込み電流が流れる。書き込み電流が流れることで、所定の磁気抵抗効果素子100にデータが書き込まれる。第2スイッチング素子S w 2及び第3スイッチング素子S w 3をONにすると、所定の磁気抵抗効果素子100に接続された共通配線C Lと読出し配線R Lとの間に読み出し電流が流れる。読み出し電流が流れることで、所定の磁気抵抗効果素子100からデータが読み出される。

- [0038] 第1スイッチング素子 $S w 1$ 、第2スイッチング素子 $S w 2$ 及び第3スイッチング素子 $S w 3$ は、電流の流れを制御する素子である。第1スイッチング素子 $S w 1$ 、第2スイッチング素子 $S w 2$ 及び第3スイッチング素子 $S w 3$ は、例えば、トランジスタ、オボニック閾値スイッチ（O T S : 0vonic Threshold Switch）のように結晶層の相変化を利用した素子、金属絶縁体転移（M I T）スイッチのようにバンド構造の変化を利用した素子、ツェナーダイオード及びアバランシェダイオードのように降伏電圧を利用した素子、原子位置の変化に伴い伝導性が変化する素子である。
- [0039] 図1に示す磁気メモリ200は、同じ配線に接続された磁気抵抗効果素子100が第3スイッチング素子 $S w 3$ を共用している。第3スイッチング素子 $S w 3$ は、それぞれの磁気抵抗効果素子100に設けてもよい。またそれぞれの磁気抵抗効果素子100に第3スイッチング素子 $S w 3$ を設け、第1スイッチング素子 $S w 1$ 又は第2スイッチング素子 $S w 2$ を同じ配線に接続された磁気抵抗効果素子100で共用してもよい。
- [0040] 図2は、第1実施形態に係る磁気メモリ200の特徴部分の断面図である。図2は、磁気抵抗効果素子100を後述するスピン軌道トルク配線20のy方向の幅の中心を通るxz平面で切断した断面である。
- [0041] 図2に示す第1スイッチング素子 $S w 1$ 及び第2スイッチング素子 $S w 2$ は、トランジスタ $T r$ である。第3スイッチング素子 $S w 3$ は、読出し配線 $R L$ と電氣的に接続され、例えば、図2のy方向の異なる位置にある。トランジスタ $T r$ は、例えば電界効果型のトランジスタであり、ゲート電極 G とゲート絶縁膜 $G I$ と基板 $S u b$ に形成されたソース S 及びドレイン D とを有する。ソース S とドレイン D は、電流の流れ方向によって既定されるものであり、これらは同一の領域である。ソース S とドレイン D の位置関係は、反転していてもよい。基板 $S u b$ は、例えば、半導体基板である。
- [0042] トランジスタ $T r$ と磁気抵抗効果素子100とは、ビア配線 V 、第1導電層31及び第2導電層32を介して、電氣的に接続されている。またトランジスタ $T r$ と書き込み配線 $W L$ 又は共通配線 $C L$ とは、ビア配線 V で接続さ

れている。ビア配線Vは、例えば、z方向に延びる。読出し配線RLは、電極Eを介して積層体10に接続されている。ビア配線V、電極E、第1導電層31及び第2導電層32は、導電性を有する材料を含む。

[0043] 磁気抵抗効果素子100及びトランジスタTrの周囲は、絶縁層Inで覆われている。絶縁層Inは、多層配線の配線間や素子間を絶縁する絶縁層である。絶縁層Inは、例えば、酸化シリコン(SiO_x)、窒化シリコン(SiN_x)、炭化シリコン(SiC)、窒化クロム、炭窒化シリコン(SiCN)、酸窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)、酸化マグネシウム(MgO)、窒化アルミニウム(AlN)等である。

[0044] 図3は、磁気抵抗効果素子100の断面図である。図3は、スピン軌道トルク配線20のy方向の幅の中心を通るxz平面で磁気抵抗効果素子100を切断した断面である。図4は、磁気抵抗効果素子100をz方向から見た平面図である。

[0045] 磁気抵抗効果素子100は、例えば、積層体10とスピン軌道トルク配線20と第1導電層31と第2導電層32とを備える。積層体10は、スピン軌道トルク配線20に積層されている。積層体10とスピン軌道トルク配線20との間には、他の層を有してもよい。第1導電層31及び第2導電層32は、スピン軌道トルク配線20に接続されている。第1導電層31、第2導電層32のそれぞれとスピン軌道トルク配線20との間に、他の層を有していてもよい。第1導電層31と第2導電層32とは、z方向から見て、積層体10を挟む位置にある。

[0046] 積層体10のz方向の抵抗値は、スピン軌道トルク配線20から積層体10にスピンの注入されることで変化する。磁気抵抗効果素子100は、スピン軌道トルク(SOT)を利用した磁性素子であり、スピン軌道トルク型磁気抵抗効果素子、スピン注入型磁気抵抗効果素子、スピン流磁気抵抗効果素子と言われる場合がある。

[0047] 積層体10は、z方向に、スピン軌道トルク配線20と電極E(図2参照

）とに挟まれる。積層体 10 は、柱状体である。積層体 10 の z 方向からの平面視形状は、例えば、円形、楕円形、四角形である。積層体 10 の側面は、例えば、z 方向に対して傾斜する。

[0048] 積層体 10 は、例えば、第 1 強磁性層 1 と第 2 強磁性層 2 と非磁性層 3 とを有する。第 1 強磁性層 1 は、例えば、スピン軌道トルク配線 20 と接し、スピン軌道トルク配線 20 上に積層されている。第 1 強磁性層 1 にはスピン軌道トルク配線 20 からスピンの注入される。第 1 強磁性層 1 の磁化は、注入されたスピンによりスピン軌道トルク (SOT) を受け、配向方向が変化する。第 1 強磁性層 1 と第 2 強磁性層 2 は、z 方向に非磁性層 3 を挟む。

[0049] 第 1 強磁性層 1 及び第 2 強磁性層 2 は、それぞれ磁化を有する。第 2 強磁性層 2 の磁化は、所定の外力が印加された際に第 1 強磁性層 1 の磁化よりも配向方向が変化しにくい。第 1 強磁性層 1 は磁化自由層と言われ、第 2 強磁性層 2 は磁化固定層、磁化参照層と言われることがある。図 3 に示す積層体 10 は、磁化固定層が基板 Sub から離れた側にあり、トップピン構造と呼ばれる。積層体 10 は、非磁性層 3 を挟む第 1 強磁性層 1 と第 2 強磁性層 2 との磁化の相対角の違いに応じて抵抗値が変化する。

[0050] 第 1 強磁性層 1 及び第 2 強磁性層 2 は、強磁性体を含む。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。

[0051] 第 1 強磁性層 1 及び第 2 強磁性層 2 は、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_2MnS

i 、 $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-a}\text{Fe}_a\text{Al}_b\text{Si}_{1-b}$ 、 $\text{Co}_2\text{FeGe}_{1-c}\text{Ga}_c$ 等である。
ホイスラー合金は高いスピン分極率を有する。

[0052] 非磁性層3は、非磁性体を含む。非磁性層3が絶縁体の場合（トンネルバリア層である場合）、その材料としては、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、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るため、スピンを効率よく注入できる。非磁性層3が金属の場合、その材料としては、 Cu 、 Au 、 Ag 等を用いることができる。さらに、非磁性層3が半導体の場合、その材料としては、 Si 、 Ge 、 CuInSe_2 、 CuGaSe_2 、 $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ 等を用いることができる。

[0053] 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。例えば、スピン軌道トルク配線20と第1強磁性層1との間に下地層を有してもよい。下地層は、積層体10を構成する各層の結晶性を高める。また例えば、積層体10の最上面にキャップ層を有してもよい。

[0054] また積層体10は、第2強磁性層2の非磁性層3と反対側の面に、スペーサ層を介して強磁性層を設けてもよい。第2強磁性層2、スペーサ層、強磁性層は、シンセティック反強磁性構造（SAF構造）となる。シンセティック反強磁性構造は、非磁性層を挟む二つの磁性層からなる。第2強磁性層2と強磁性層とが反強磁性カップリングすることで、強磁性層を有さない場合より第2強磁性層2の保磁力が大きくなる。強磁性層は、例えば、 IrMn 、 PtMn 等である。スペーサ層は、例えば、 Ru 、 Ir 、 Rh からなる群から選択される少なくとも一つを含む。

[0055] スピン軌道トルク配線20は、例えば、 z 方向から見て x 方向の長さが y 方向より長く、 x 方向に延びる。書き込み電流は、スピン軌道トルク配線20の x 方向に流れる。スピン軌道トルク配線20の少なくとも一部は、 z 方向において、非磁性層3と共に第1強磁性層1を挟む。

[0056] スピン軌道トルク配線 20 は、電流 I が流れる際のスピnhall効果によってスピン流を発生させ、第 1 強磁性層 1 にスピンを注入する。スピン軌道トルク配線 20 は、例えば、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 の磁化に与える。スピnhall効果は、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nhall効果は、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、通常のホール効果と共通する。通常のホール効果は、磁場中で運動する荷電粒子の運動方向がローレンツ力によって曲げられる。これに対し、スピnhall効果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。

[0057] 例えば、スピン軌道トルク配線 20 に電流が流れると、一方向に配向した第 1 スピンと、第 1 スピンと反対方向に配向した第 2 スピンとが、それぞれ電流 I の流れる方向と直交する方向にスピnhall効果によって曲げられる。例えば、 $-y$ 方向に配向した第 1 スピンが $+z$ 方向に曲げられ、 $+y$ 方向に配向した第 2 スピンが $-z$ 方向に曲げられる。

[0058] 非磁性体 (強磁性体ではない材料) は、スピnhall効果により生じる第 1 スピンの電子数と第 2 スピンの電子数とが等しい。すなわち、 $+z$ 方向に向かう第 1 スピンの電子数と $-z$ 方向に向かう第 2 スピンの電子数とは等しい。第 1 スピンと第 2 スピンは、スピンの偏在を解消する方向に流れる。第 1 スピン及び第 2 スピンの z 方向への移動において、電荷の流れは互いに相殺されるため、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。

[0059] 第 1 スピンの電子の流れを $J_{\uparrow}$ 、第 2 スピンの電子の流れを $J_{\downarrow}$ 、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。第 1 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。

[0060] スピン軌道トルク配線 20 は、パイロクロア構造の化合物を含む。スピン

軌道トルク配線20は、パイロクロア構造の化合物からなってもよい。

- [0061] パイロクロア構造の化合物は、例えば、酸化物、酸窒化物、フッ化物、水酸化物のいずれかである。パイロクロア構造の化合物は、例えば、酸化物である。酸化物は、取り扱いが容易である。またパイロクロア構造の酸化物は、金属と比較して電気抵抗率が高い。第1導電層31と第2導電層32との間に高電圧を印加できると、スピン軌道トルク配線20から第1強磁性層1へのスピンの注入効率が高まる。
- [0062] $R_2Ir_2O_7$ の組成式で表される酸化物は、パイロクロア構造の酸化物の一例である。組成式におけるRは、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素である。上記組成式は、化学量論組成で記載しているが、結晶構造を維持できる範囲内で化学量論組成からのずれは許容される。例えば、パイロクロア構造の酸化物は、酸素欠損していてもよい。酸素欠損の程度によりスピン軌道トルク配線20の導電性を調整できる。
- [0063] 図5は、パイロクロア構造の結晶構造を示す図である。図5は、 $Nd_2Ir_2O_7$ の結晶構造である。図5では、酸素を省略している。パイロクロア構造は、面方位 $\langle 110 \rangle$ に沿って、2つの陽イオン（NdイオンとIrイオン）が並んだ構造である。パイロクロア構造は、R原子が正四面体をなし、正四面体が頂点を共有しながら三次元的に繋がった構造を有する。
- [0064] パイロクロア構造の正四面体では、最近接原子間の磁氣的相互作用が反強磁性的な場合に、磁氣的なフラストレーションが生じる。磁氣的なフラストレーションは、物質内の磁氣的バランスを崩し、スピン揺らぎを増大させる。パイロクロア構造は、室温では、磁気イオン間の長距離相関を有さず、常磁性又は常磁性に類する磁気特性を有する。
- [0065] パイロクロア構造の化合物を有するスピン軌道トルク配線20は、大きなスピン流を生み出すことができる。磁氣的なフラストレーションがスピン軌道トルク配線20内の対称性を乱すことで、伝導電子と局在電子との間に強いスピン軌道相互作用が生じるためと考えられる。

- [0066] 組成式におけるRは、PrとNdとのうち少なくとも一方の元素を含んでもよい。これらの元素を第1元素と称する。第1元素を含むパイロクロア構造は、組成式におけるRが他の元素の場合より電気抵抗率が低い。そのため、磁気抵抗効果素子100の動作電圧を下げることができる。
- [0067] また第1元素を含むパイロクロア構造は、抵抗値が温度に対して金属的な挙動を示す。抵抗値の金属的な挙動は、温度が高いほど抵抗値が大きくなるというものである。この場合、スピン軌道トルク配線20は、温度が高いほど電流が流れにくくなる。換言すると、スピン軌道トルク配線20から第1強磁性層1に注入されるスピン量は、温度が高いほど少なくなる。ところで、第1強磁性層1の磁化は、温度が高いほど反転しやすくなる。磁化反転しやすい高温において第1強磁性層1に注入されるスピン量が少なく、磁化反転しにくい低温において第1強磁性層1に注入されるスピン量が多いと、磁気抵抗効果素子100全体としての温度依存性が小さくなる。
- [0068] また組成式におけるRは、第1元素と、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素とを、含んでもよい。Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素を第2元素と称する。
- [0069] 第2元素を含むパイロクロア構造は、抵抗値が温度に対して半導体的な挙動を示す。抵抗値の半導体な挙動は、温度が上がるほど抵抗値が小さくなるというものである。
- [0070] パイロクロア構造の化合物が第1元素と第2元素との両方を有すると、抵抗値の金属的な挙動と半導体的な挙動とが互いに相殺し、スピン軌道トルク配線20が温度により受ける影響が小さくなる。
- [0071] またパイロクロア構造に含まれる第2元素の組成比は、例えば、第1元素の組成比より小さい。この場合、スピン軌道トルク配線20の抵抗値は温度に対して金属的な挙動を示す。スピン軌道トルク配線20は、第2元素を含むことで抵抗値が極端な金属的な挙動を示すことを避けることができる。また磁気抵抗効果素子100全体としては、スピン軌道トルク配線20が金属的

挙動を示すことで、温度依存性が小さくなる。

[0072] スピン軌道トルク配線20の電気抵抗率は、例えば、 $1\text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上である。またスピン軌道トルク配線20の電気抵抗率は、例えば、 $10\text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である。スピン軌道トルク配線20の電気抵抗率が高いと、スピン軌道トルク配線20に高電圧を印加できる。スピン軌道トルク配線20の電位が高くなると、スピン軌道トルク配線20から第1強磁性層1に効率的にスピンを供給できる。またスピン軌道トルク配線20が一定以上の導電性を有することで、スピン軌道トルク配線20に沿って流れる電流経路を確保でき、スピンホール効果に伴うスピン流を効率的に生み出すことができる。

[0073] スピン軌道トルク配線20の厚みは、例えば、 4 nm 以上である。スピン軌道トルク配線20の厚みは、例えば、 20 nm 以下でもよい。

[0074] スピン軌道トルク配線20が金属の場合、スピン軌道トルク配線20の膜厚を薄くすることで、反転電流密度以上の電流密度の電流をスピン軌道トルク配線20に沿って流すことができる。しかしながら、薄膜ほど均質に形成することは難しい。反転電流密度は、磁気抵抗効果素子100の磁化を反転するのに要する電流密度であり、磁気抵抗効果素子100は磁化が反転することで動作する。

[0075] これに対し、スピン軌道トルク配線20の電気抵抗率が高い場合、スピン軌道トルク配線20の厚みが厚くても、スピン軌道トルク配線20に沿って流れる電流の電流密度を反転電流密度以上にできる。スピン軌道トルク配線20の厚みが厚いと、スピン軌道トルク配線20を均質に形成しやすく、複数の磁気抵抗効果素子100の間のバラツキも小さくできる。

[0076] スピン軌道トルク配線20は、この他に、磁性金属を含んでもよく、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。

[0077] 第1導電層31及び第2導電層32のそれぞれは、導電層の一例である。第1導電層31及び第2導電層32のそれぞれは、導電性に優れた材料から

なる。第1導電層31及び第2導電層32は、例えば、Al、Cu、W、Crである。

[0078] 次いで、磁気抵抗効果素子100の製造方法について説明する。磁気抵抗効果素子100は、各層の積層工程と、各層の一部を所定の形状に加工する加工工程により形成される。各層の積層は、スパッタリング法、化学気相成長(CVD)法、電子ビーム蒸着法(EB蒸着法)、原子レーザデポジション法等を用いることができる。各層の加工は、フォトリソグラフィ等を用いて行うことができる。

[0079] まず基板Subの所定の位置に、不純物をドープレソースS、ドレインDを形成する。次いで、ソースSとドレインDとの間に、ゲート絶縁膜G1、ゲート電極Gを形成する。ソースS、ドレインD、ゲート絶縁膜G1及びゲート電極GがトランジスタTrとなる。

[0080] 次いで、トランジスタTrを覆うように絶縁層Inを形成する。また絶縁層Inに開口部を形成し、開口部内に導電体を充填することでビア配線V、第1導電層31及び第2導電層32が形成される。書き込み配線WL、共通配線CLは、絶縁層Inを所定の厚みまで積層した後、絶縁層Inに溝を形成し、溝に導電体を充填することで形成される。

[0081] 次いで、絶縁層In、第1導電層31及び第2導電層32の一面に、酸化物層を積層する。酸化物層を成膜する工程を第1成膜工程と称する。酸化物層は、パイロクロア構造の酸化物を含む。第1成膜工程では、酸化物をRFスパッタリングすると同時に又は後に、金属をDCスパッタリングする。第1成膜工程は、例えば、酸素雰囲気中で行う。酸素分圧を調整することで、パイロクロア構造の酸化物における酸素の組成比を調整できる。

[0082] RFスパッタリングされる酸化物は、例えば、 R_2O_3 (Rは、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素)である。DCスパッタされる金属は、例えば、Irである。ターゲットの酸化物及び金属が被成膜面上でマイグレーションすることで、パイロクロア構造の酸化物を含む酸化物層が得られる。

[0083] 次いで、酸化物層に、強磁性層、非磁性層、強磁性層、ハードマスク層を順に積層する。次いで、ハードマスク層を所定の形状に加工する。所定の形状は、例えば、スピン軌道トルク配線20の外形である。次いで、ハードマスク層を介して、酸化物層、強磁性層、非磁性層、強磁性層を一度に所定の形状に加工する。酸化物層は所定の形状に加工されることで、スピン軌道トルク配線20となる。

[0084] 次いで、ハードマスク層のx方向の不要部分を除去する。ハードマスク層は、積層体10の外形となる。次いで、ハードマスク層を介して、スピン軌道トルク配線20上に形成された積層体のx方向の不要部分を除去する。積層体10は、所定の形状に加工され、積層体10となる。ハードマスク層は、電極Eとなる。次いで、積層体10、スピン軌道トルク配線20の周囲を絶縁層1nで埋め、磁気抵抗効果素子100が得られる。

[0085] 第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子100は、スピン軌道トルク配線20内に効率的にスピン流を生み出すことができ、且つ、スピン軌道トルク配線20から第1強磁性層1にスピンを効率的に注入できる。そのため、第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子100は、第1強磁性層1の磁化を反転させるために必要な書き込み電流量を小さくできる。一つ一つの素子の書き込み電流量が小さいと、磁気メモリ200全体の消費電力を低減できる。

[0086] これは、スピン軌道トルク配線20がパイロクロア構造を有するためである。パイロクロア構造内に生じる磁氣的なフラストレーションが、スピン軌道トルク配線20内の対称性を乱し、スピン軌道トルク配線20内にスピン流を効率的に生み出す。生じたスピン流は、スピン軌道トルク配線20と第1強磁性層1との電位差に応じて、効率的に第1強磁性層1に注入される。

[0087] 以上、第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子100の一例を示したが、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。

[0088] (第1変形例)

図6は、第1変形例に係る磁気抵抗効果素子101の断面図である。図6

は、スピン軌道トルク配線 20 の y 方向の中心を通る x z 断面である。図 6 において、図 3 と同じ構成には同様の符号を付し、説明を省く。

[0089] 第 1 変形例に係る磁気抵抗効果素子 101 は、スピン軌道トルク配線 20 と第 1 強磁性層 1 との間に、第 1 中間層 40 を有する。第 1 中間層 40 は、例えば、スピン軌道トルク配線 20 上にある。

[0090] 第 1 中間層 40 は、非磁性層の重金属を含む。重金属は、イットリウム (Y) 以上の原子番号 (比重) を有する金属である。非磁性の重金属は、例えば、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。第 1 中間層 40 は、例えば、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、W のいずれか一つ以上を含む。第 1 中間層 40 の主元素は、例えば、これらの元素のうちのいずれかであることが好ましい。

[0091] 第 1 中間層 40 は、完全な連続する層となっていなくてもよく、例えば複数の開口を有する連続膜又は島状に点在する複数の構成要素を含む層でもよい。

[0092] 第 1 中間層 40 の厚みは、例えば、層を構成する物質のスピン拡散長以下である。また第 1 中間層 40 の厚みは、例えば、第 1 中間層 40 を構成する元素の結合半径の 5 倍以下である。結合半径は、第 1 中間層 40 を構成する元素の結晶の再隣接原子間距離の半分の値である。第 1 中間層 40 の厚みが薄いことで、スピン軌道トルク配線 20 で生じたスピンの第 1 強磁性層 1 に至る前に拡散することを抑制できる。

[0093] 第 1 中間層 40 は、第 2 成膜工程で成膜される。第 2 成膜工程は、第 1 成膜工程の後に行われる。第 2 成膜工程は、第 1 成膜工程で成膜された酸化物層上に、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む重金属層を成膜する工程である。

[0094] 第 2 成膜工程におけるチャンバー内のガス圧は、例えば、第 1 成膜工程におけるチャンバー内のガス圧より高くする。すなわち、第 2 成膜工程における真空度を第 1 成膜工程より悪くする。

[0095] 第2成膜工程における真空度が低いと、非磁性の重金属が粒成長する。非磁性の重金属が粒成長すると、第1中間層40が複数の開口を有する連続膜又は島状に点在する複数の構成要素を含む層となる。この場合、スピン軌道トルク配線20と第1強磁性層1とは一部で直接接することになり、スピン軌道トルク配線20で生じたスピンの第1強磁性層1に至る前に第1中間層40で拡散することをより抑制できる。

[0096] 書き込み電流は、第1中間層40とスピン軌道トルク配線20とを合わせた配線に沿って流れる。配線を通る書き込み電流は、第1中間層40とスピン軌道トルク配線20とに分流する。電流の一部が分流することで、電流が流れにくいスピン軌道トルク配線20における発熱を抑制できる。また配線全体としての抵抗を下げることができる。

[0097] また第1中間層40を構成する非磁性の重金属は、その他の金属よりスピン軌道相互作用が強く生じる。そのため、第1中間層40内を通る書き込み電流もスピン流を生み出す。

[0098] また第1中間層40を設けると、第1中間層40とスピン軌道トルク配線20との間に、異種物質の界面ができる。異種物質の界面では、ラシュバ効果が生じ、第1強磁性層1に注入されるスピン量が増える。

[0099] (第2変形例)

図7は、第2変形例に係る磁気抵抗効果素子102の断面図である。図7は、スピン軌道トルク配線20のy方向の中心を通るxz断面である。図7において、図3と同じ構成には同様の符号を付し、説明を省く。

[0100] 第1変形例に係る磁気抵抗効果素子102は、スピン軌道トルク配線20と第1強磁性層1との間に、第2中間層50を有する。第2中間層50は、例えば、スピン軌道トルク配線20上にある。

[0101] 第2中間層50は、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む。第2中間層50は、例えば、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素からなる。これらの元素は、導電性に優れる。したがって、第2中間層50とスピン軌道トルク配線20

とを合わせた配線全体としての抵抗をより下げることができる。またこれらの元素は、スピン拡散長が長い。したがって、第2中間層50は、スピンを拡散しにくい。スピン軌道トルク配線20で生じたスピンは、第2中間層50を介しても、第1強磁性層1に効率的に供給される。

[0102] 第2中間層50は、完全な連続する層となっていなくてもよく、例えば複数の開口を有する連続膜又は島状に点在する複数の構成要素を含む層でもよい。第2中間層50の厚みは、例えば、層を構成する物質のスピン拡散長以下である。

[0103] 第2中間層50は、第3成膜工程で成膜される。第3成膜工程は、第1成膜工程の後に行われる。第3成膜工程は、第1成膜工程で成膜された酸化物層上に、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む層を成膜する工程である。

[0104] 書き込み電流は、第2中間層50とスピン軌道トルク配線20とを合わせた配線に沿って流れる。配線を通る書き込み電流は、第2中間層50とスピン軌道トルク配線20とに分流する。電流の一部を分流することで、電流が流れにくいスピン軌道トルク配線20における発熱を抑制できる。また配線全体としての抵抗を下げるができる。

[0105] また第2中間層50を設けると、第2中間層50とスピン軌道トルク配線20との間に、異種物質の界面ができる。異種物質の界面では、ラシュバ効果が生じ、第1強磁性層1に注入されるスピン量が増える。

[0106] (第3変形例)

図8は、第3変形例に係る磁気抵抗効果素子103の断面図である。図8は、スピン軌道トルク配線20のy方向の中心を通るxz断面である。図8において、図3と同じ構成には同様の符号を付し、説明を省く。

[0107] 第3変形例に係る磁気抵抗効果素子103は、スピン軌道トルク配線20と第1強磁性層1との間に、第1中間層40及び第2中間層50を有する。第1中間層40と第2中間層50とは、それぞれ1層以上ある。第1中間層40と第2中間層50とは、例えば、交互に積層されている。第1中間層40

0と第2中間層50との積層順は問わない。第1強磁性層1に接する層が第1中間層40の場合は、第1中間層40で生じたスピンを効率的に第1強磁性層1に注入できる。

[0108] 第1中間層40は、第1変形例と同様のものである。第2中間層50は、第2変形例と同様のものである。第1中間層40及び第2中間層50の積層数は問わない。第1中間層40と第2中間層50とは、第1成膜工程の後に、第2成膜工程と第3成膜工程とを繰り返すことで形成される。これらの層は、第1成膜工程で成膜された酸化物層上に形成される。

[0109] 磁気抵抗効果素子103は、第1中間層40及び第2中間層50を有することで、配線全体としての抵抗を下げるができる。また第1強磁性層1とスピン軌道トルク配線20との間に、複数の異種界面があることで、ランジュバ効果に伴い第1強磁性層1に注入されるスピンの量を増やすことができる。

[0110] (第4変形例)

図9は、第4変形例に係る磁気抵抗効果素子104の断面図である。図9は、スピン軌道トルク配線20のy方向の中心を通るxz断面である。図9において、図3と同じ構成には同様の符号を付し、説明を省く。

[0111] 図9に示す積層体10は、磁化固定層(第2強磁性層2)が基板Subの近くにあるボトムピン構造である。磁化固定層が基板Sub側にあると、磁化固定層の磁化の安定性が高まり、磁気抵抗効果素子104のMR比が高くなる。スピン軌道トルク配線20は、例えば、積層体10上にある。第1導電層31及び第2導電層32は、スピン軌道トルク配線20上にある。

[0112] 第4変形例にかかる磁気抵抗効果素子104は、各構成の位置関係が異なるだけであり、第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子100と同様の効果が得られる。

[0113] 「第2実施形態」

図10は、第2実施形態に係る磁化回転素子105の断面図である。図10において、磁化回転素子105は、第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子1

00と置き換えられる。

[0114] 磁化回転素子105は、例えば、第1強磁性層1に対して光を入射し、第1強磁性層1で反射した光を評価する。磁気カー効果により磁化の配向方向が変化すると、反射した光の偏向状態が変わる。磁化回転素子105は、例えば、光の偏向状態の違いを利用した例えば映像表示装置等の光学素子として用いることができる。

[0115] この他、磁化回転素子105は、単独で、異方性磁気センサ、磁気ファラデー効果を利用した光学素子等としても利用できる。

[0116] 磁化回転素子105のスピントルク配線20は、パイロクロア構造の化合物を有する。

[0117] 第2実施形態に係る磁化回転素子105は、磁気抵抗効果素子100から非磁性層3及び第2強磁性層2が除かれているだけであり、第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子100と同様の効果が得られる。

[0118] ここまで、第1実施形態、第2実施形態及び変形例を基に、本発明の好ましい態様を例示したが、本発明はこれらの実施形態に限られるものではない。例えば、それぞれの実施形態及び変形例における特徴的な構成を他の実施形態及び変形例に適用してもよい。

符号の説明

[0119] 1…第1強磁性層、2…第2強磁性層、3…非磁性層、10…積層体、20…スピントルク配線、31…第1導電層、32…第2導電層、40…第1中間層、50…第2中間層、100、101、102、103、104…磁気抵抗効果素子、105…磁化回転素子、200…磁気メモリ、CL…共通配線、RL…読出し配線、WL…書き込み配線、In…絶縁層

請求の範囲

- [請求項1] スピン軌道トルク配線と、
前記スピン軌道トルク配線に積層された第1強磁性層と、を備え、
前記スピン軌道トルク配線は、パイロクロア構造の化合物を含む、
磁化回転素子。
- [請求項2] 前記化合物は、酸化物である、請求項1に記載の磁化回転素子。
- [請求項3] 前記酸化物は、化学量論組成で $R_2 \mid r_2 O_7$ の組成式で表され、
前記組成式におけるRは、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、
Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素である、請求
項2に記載の磁化回転素子。
- [請求項4] 前記組成式におけるRは、第1元素を含み、
前記第1元素は、PrとNdとのうち少なくとも一方である、請求
項3に記載の磁化回転素子。
- [請求項5] 前記組成式におけるRは、第1元素と第2元素とを含み、
前記第1元素は、PrとNdとのうち少なくとも一方であり、
前記第2元素は、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる
群から選択される1種以上の元素である、請求項4に記載の磁化回転
素子。
- [請求項6] 前記第2元素の組成比は、前記第1元素の組成比より少ない、請求
項5に記載の磁化回転素子。
- [請求項7] 前記酸化物は、酸素欠損している、請求項2～6のいずれか一項に
記載の磁化回転素子。
- [請求項8] 前記スピン軌道トルク配線は、電気抵抗率が $1 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であ
る、請求項1～7のいずれか一項に記載の磁化回転素子。
- [請求項9] 前記スピン軌道トルク配線は、電気抵抗率が $10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下で
ある、請求項1～8のいずれか一項に記載の磁化回転素子。
- [請求項10] 前記第1強磁性層と前記スピン軌道トルク配線との間に、第1中間
層を有し、

前記第1中間層は、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む、請求項1～9のいずれか一項に記載の磁化回転素子。

[請求項11] 前記第1強磁性層と前記スピン軌道トルク配線との間に、第2中間層を有し、

前記第2中間層は、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む、請求項1～10のいずれか一項に記載の磁化回転素子。

[請求項12] 前記第1強磁性層と前記スピン軌道トルク配線との間に、第1中間層と第2中間層とをそれぞれ1層以上有し、

前記第1中間層は、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含み、

前記第2中間層は、Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む、請求項1～11のいずれか一項に記載の磁化回転素子。

[請求項13] 請求項1～12のいずれか一項に記載の磁化回転素子と、
前記磁化回転素子の前記第1強磁性層に接する非磁性層と、
前記第1強磁性層と共に前記非磁性層を間に挟む第2強磁性層と、
を備える、磁気抵抗効果素子。

[請求項14] 請求項13に記載の磁気抵抗効果素子を複数備える、磁気メモリ。

[請求項15] 酸化物をRFスパッタリングすると同時に又は後に、金属をDCスパッタリングし、パイロクロア構造を含む酸化物層を成膜する第1成膜工程を有する、配線の製造方法。

[請求項16] 前記酸化物は、 R_2O_3 （Rは、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選択される1種以上の元素）であり、

前記金属は、Irである、請求項15に記載の配線の製造方法。

[請求項17] 前記第1成膜工程を酸素雰囲気中で行う、請求項15又は16に記載の配線の製造方法。

[請求項18] 前記第1成膜工程の後に、イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む重金属層を成膜する第2成膜工程を有し、

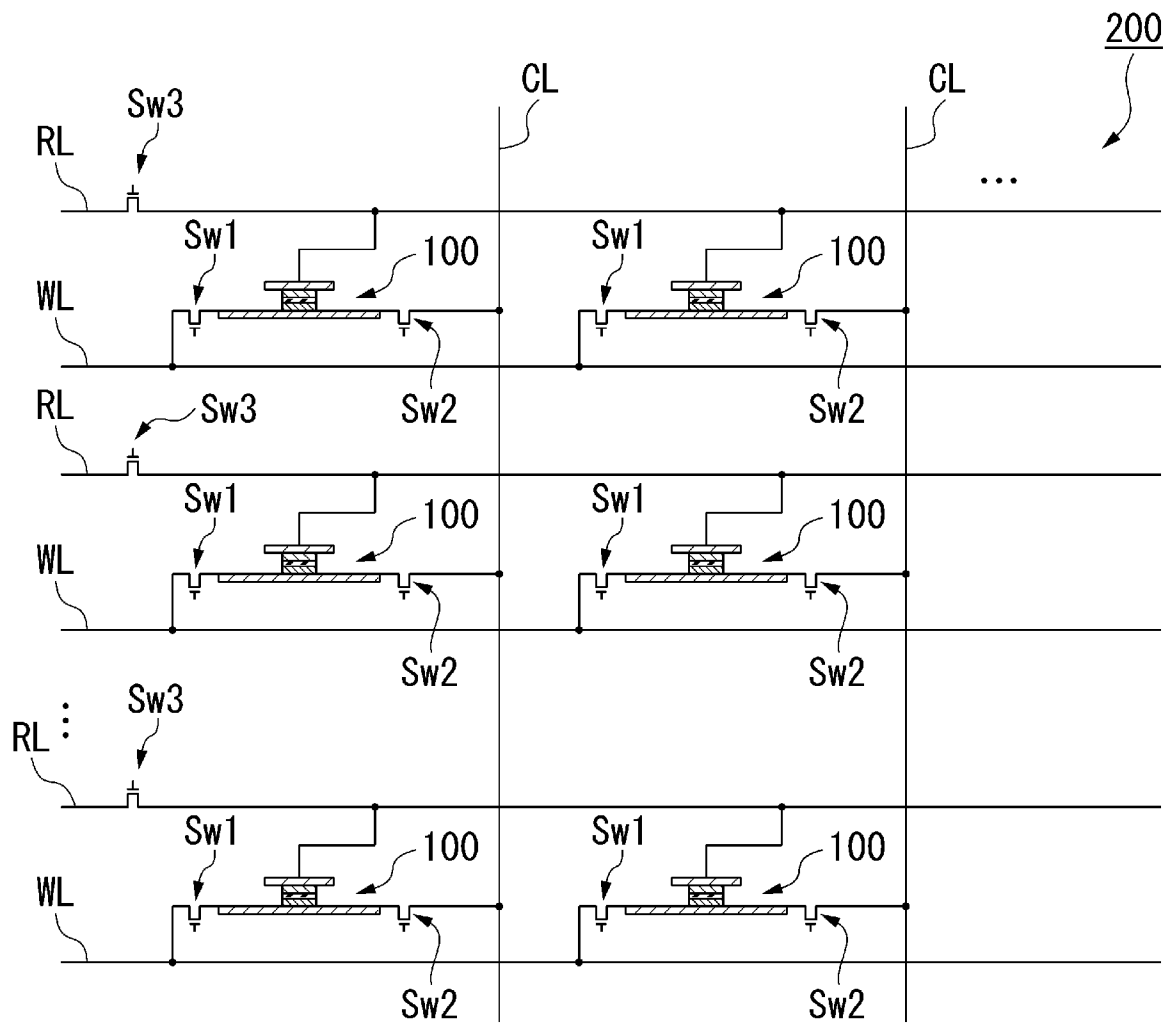
前記第2成膜工程におけるガス圧は、前記第1成膜工程におけるガス圧より高い、請求項15～17のいずれか一項に記載の配線の製造方法。

[請求項19] イットリウムより原子番号の大きな重金属を含む重金属層を成膜する第2成膜工程と、

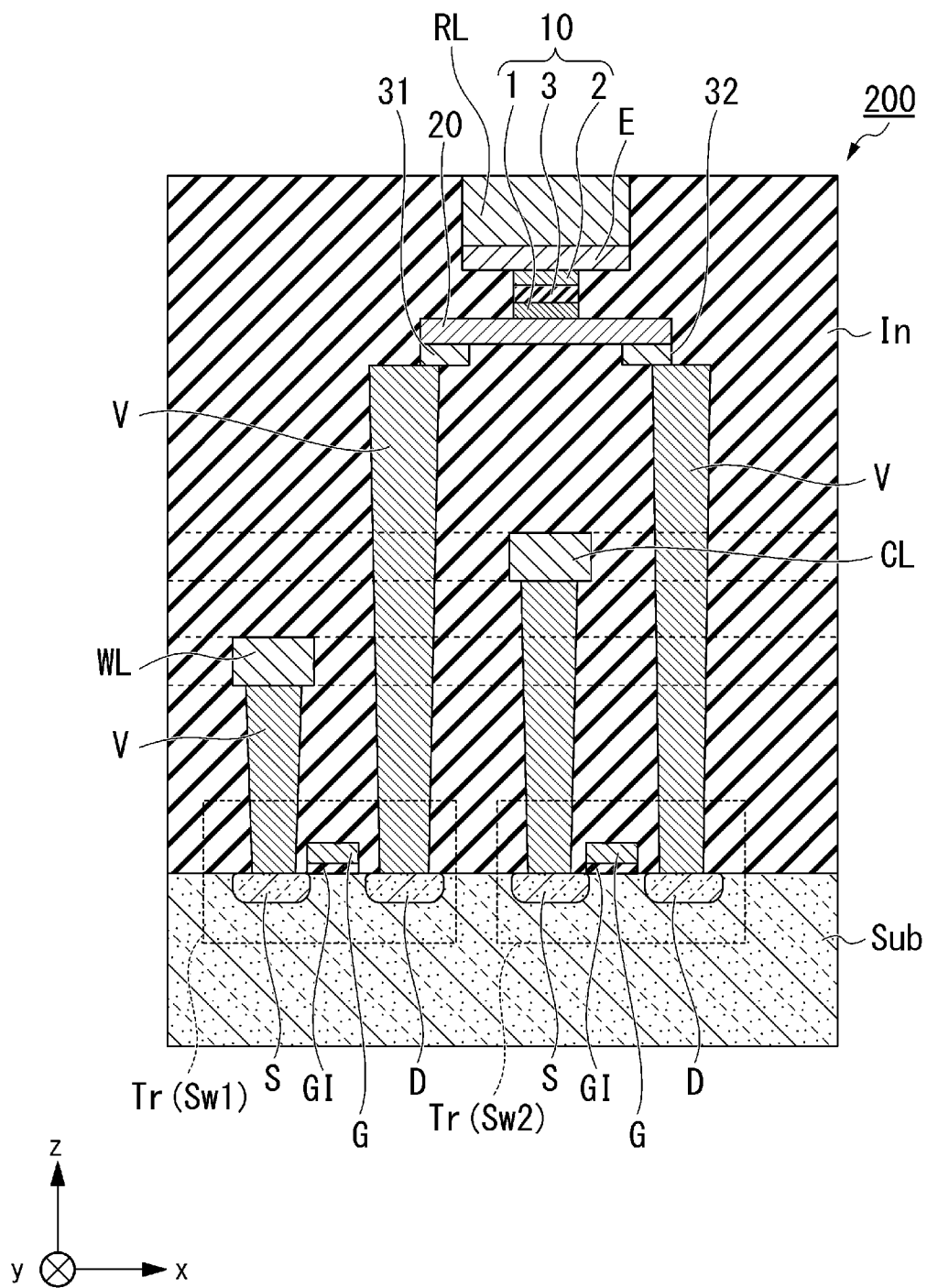
Cu、Al、Si及びAlからなる群から選択される1種以上の元素を含む層を成膜する第3成膜工程とを、前記第1成膜工程の後にさらに有し、

前記第2成膜工程と前記第3成膜工程とを交互に行う、請求項15～17のいずれか一項に記載の配線の製造方法。

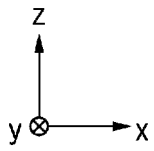
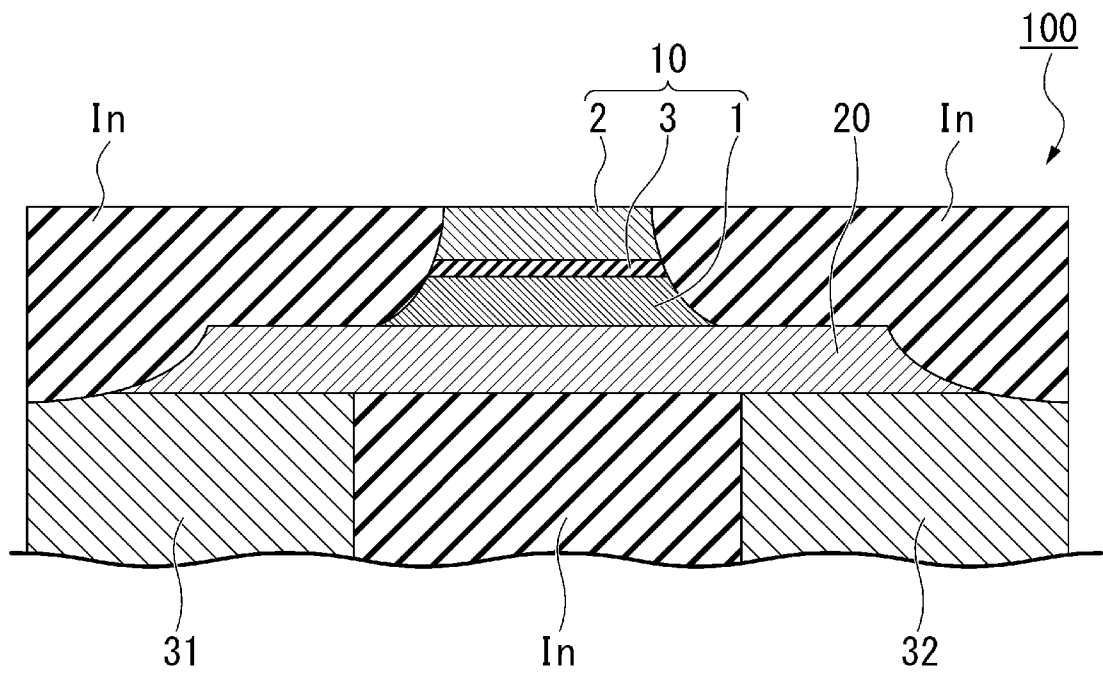
[図1]



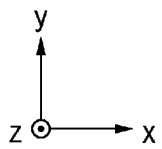
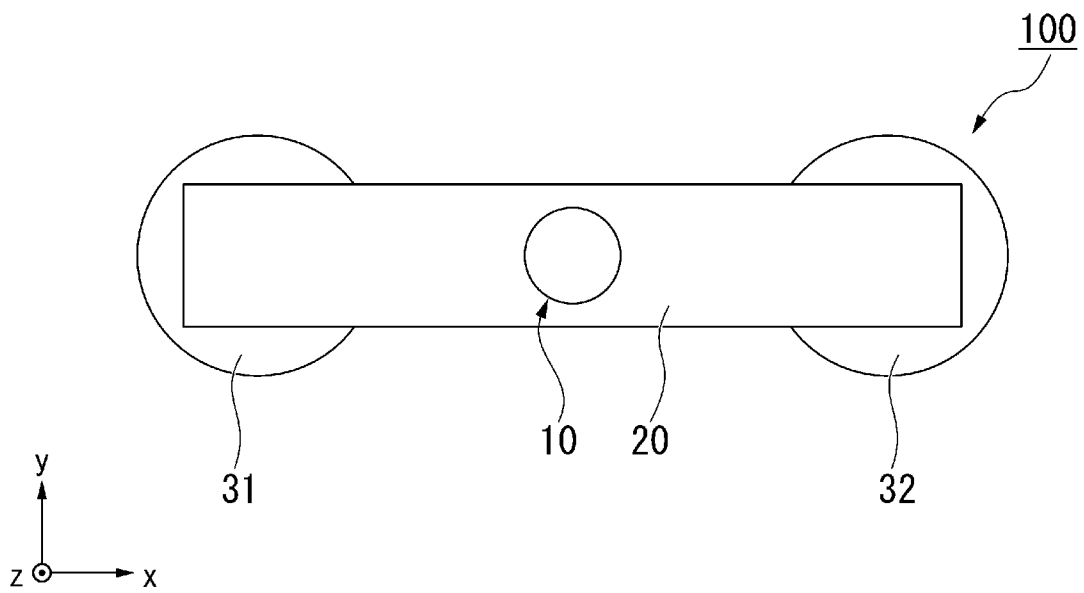
[図2]



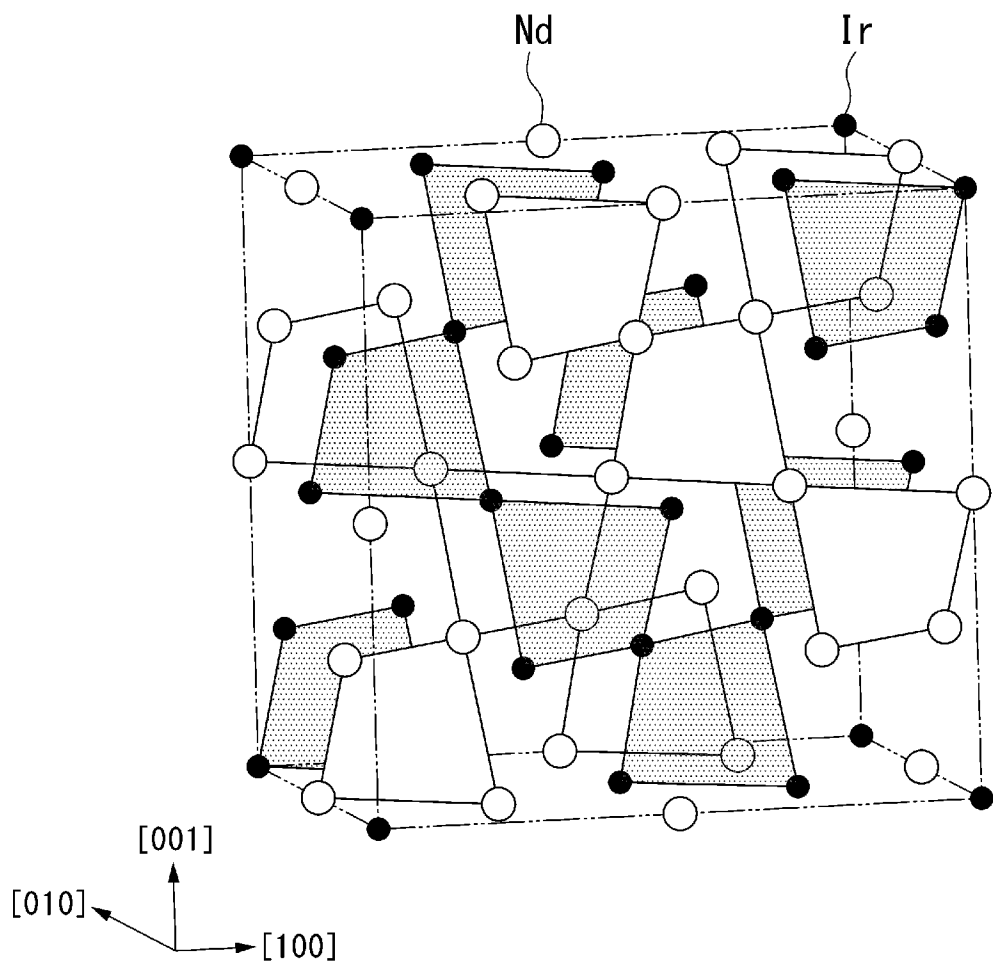
[図3]



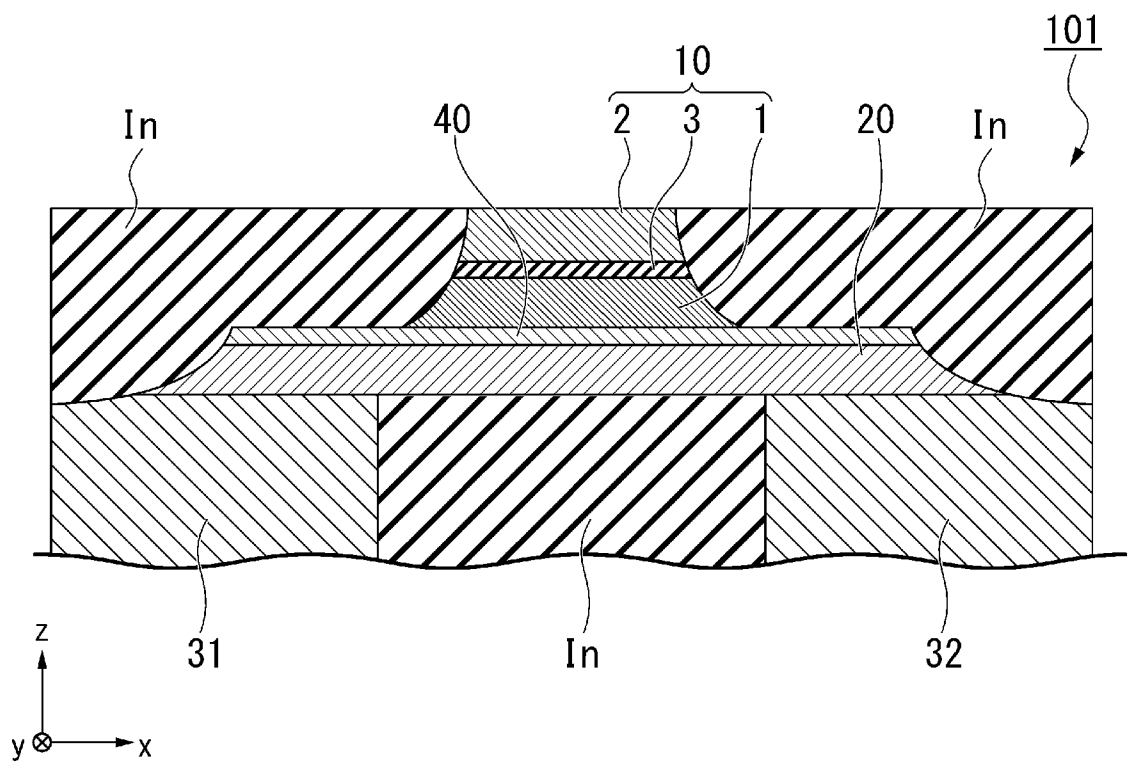
[図4]



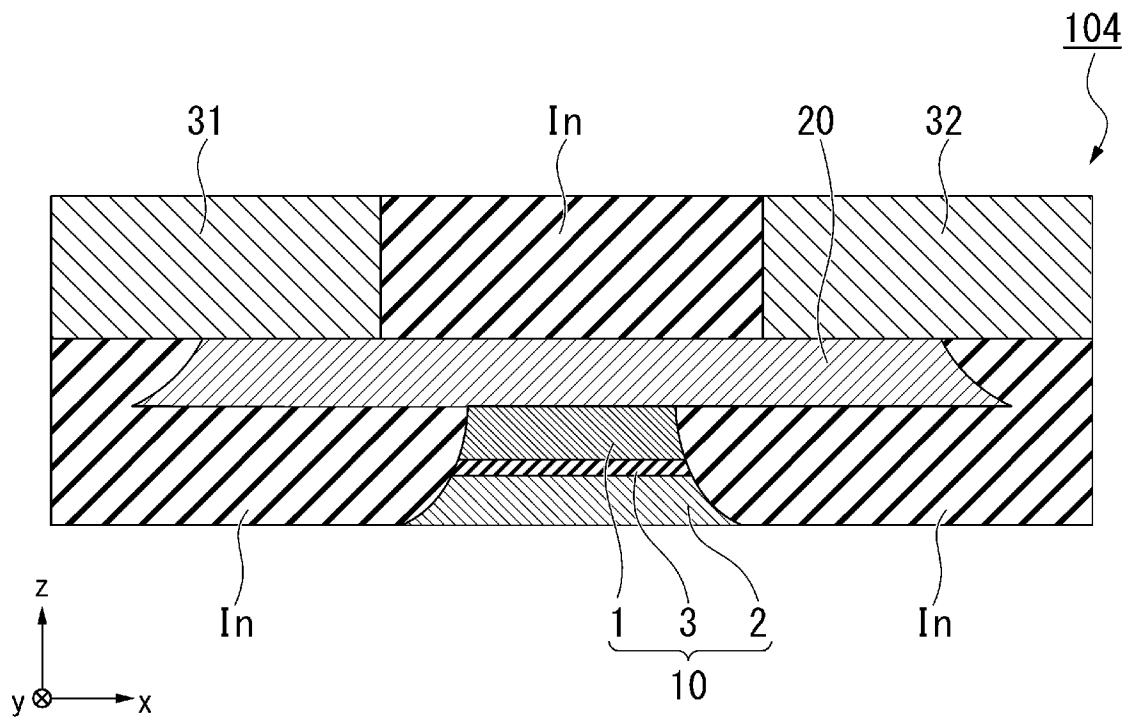
[図5]



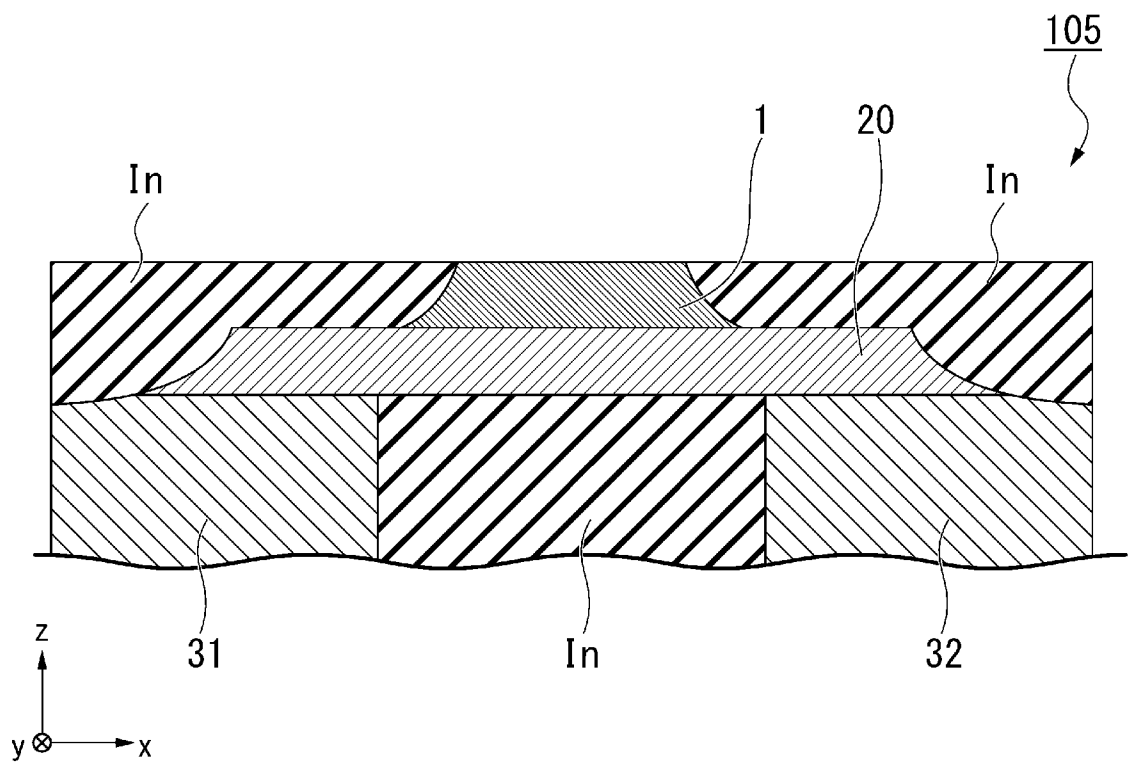
[図6]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/046050

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 29/82 (2006.01) i

FI: H01L29/82 Z

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)

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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 A	JP 2019-165244 A (TDK CORPORATION) 26 September 2019 (2019-09-26) paragraphs [0024], [0058], [0059], [0072], [0083], fig. 1, 3, 4	1-3, 8-14 4-7, 15-19
Y	JP 2014-110419 A (IMEC) 12 June 2014 (2014-06-12) paragraphs [0004], [0048], [0058], fig. 1	1-3, 8-14
Y	JP 9-214018 A (NEC CORP.) 15 August 1997 (1997-08-15) paragraph [0019]	1-3, 8-14
Y	JP 6530527 B1 (TOSHIBA CORP.) 12 June 2019 (2019-06-12) paragraphs [0009], [0012], [0072], [0075], [0078], fig. 7(a)	10-14
A	JP 2018-182256 A (TDK CORPORATION) 15 November 2018 (2018-11-15) entire text, all drawings	1-19

☐ 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

"I" 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
25 February 2021 (25.02.2021)

Date of mailing of the international search report
09 March 2021 (09.03.2021)

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
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/046050

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2019-165244 A	26 Sep. 2019	JP 6533356 B1 WO 2019/163203 A1 CN 110392932 A	
JP 2014-110419 A	12 Jun. 2014	US 2014/0160835 A1 paragraphs [0005], [0055], [0065], fig. 1	
JP 9-214018 A	15 Aug. 1997	EP 2741295 A1 US 5721654 A column 13, lines 17- 27	
JP 6530527 B1	12 Jun. 2019	EP 777212 A2 US 2019/0287597 A1 paragraphs [0025], [0028], [0072], [0096], [0100], fig. 7A	
JP 2018-182256 A	15 Nov. 2018	US 2018/0308535 A1 entire text, all drawings US 2020/0160900 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 29/82(2006.01)i FI: H01L29/82 Z														
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）） 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年													
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 2019-165244 A (TDK株式会社) 26.09.2019 (2019 - 09 - 26) [0024], [0058], [0059], [0072], [0083], 図1, 3, 4	1-3, 8-14												
A		4-7, 15-19												
Y	JP 2014-110419 A (アイメック) 12.06.2014 (2014 - 06 - 12) [0004], [0048], [0058], 図1	1-3, 8-14												
Y	JP 9-214018 A (日本電気株式会社) 15.08.1997 (1997 - 08 - 15) [0019]	1-3, 8-14												
Y	JP 6530527 B1 (株式会社東芝) 12.06.2019 (2019 - 06 - 12) [0009], [0012], [0072], [0075], [0078], 図7(a)	10-14												
A	JP 2018-182256 A (TDK株式会社) 15.11.2018 (2018 - 11 - 15) 全文, 全図	1-19												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 25.02.2021	国際調査報告の発送日 09.03.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 宮本 博司 5F 6313 電話番号 03-3581-1101 内線 3516													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/046050

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2019-165244	A	26.09.2019	JP	6533356	B1	
				WO	2019/163203	A1	
				CN	110392932	A	
JP	2014-110419	A	12.06.2014	US	2014/0160835	A1	
				[0005], [0055], [0065], 図1			
				EP	2741295	A1	
JP	9-214018	A	15.08.1997	US	5721654	A	
				第13欄第17 - 27行			
				EP	777212	A2	
JP	6530527	B1	12.06.2019	US	2019/0287597	A1	
				[0025], [0028], [0072], [0096], [0100], 図7A			
JP	2018-182256	A	15.11.2018	US	2018/0308535	A1	
				全文, 全図			
				US	2020/0160900	A1	