

(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5月19日(19.05.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/102770 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 43/10 (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/JP2021/041886

(22) 国際出願日: 2021年11月15日(15.11.2021)

(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:
PCT/JP2020/042602 2020年11月16日(16.11.2020) JP

(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).

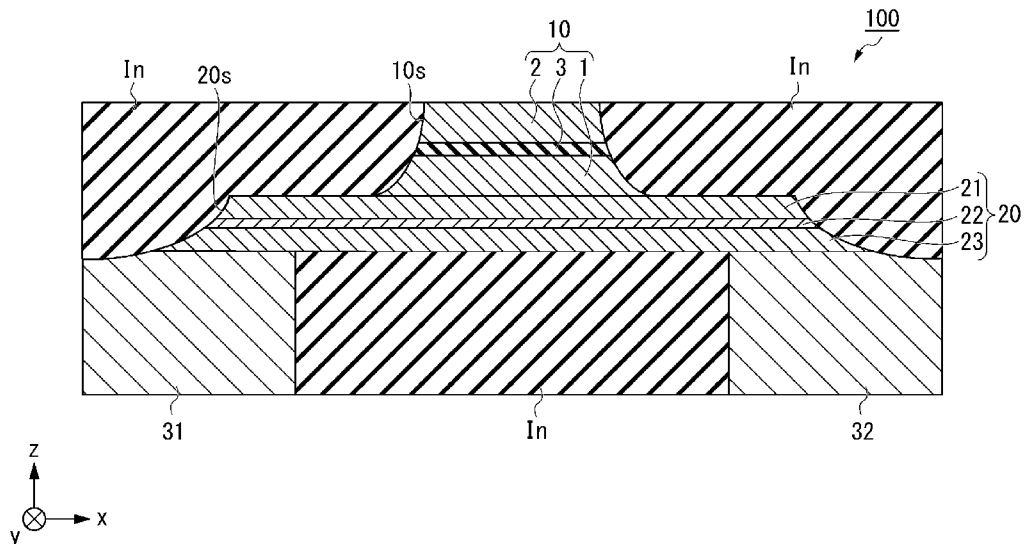
(72) 発明者: 濱中 幸祐 (HAMANAKA Kosuke);
〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP). 塩川 陽平(SHIOKAWA Yohei); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP). 佐貫 稔(SANUKI Minoru); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 及川 周, 外 (OIKAWA Shu 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,

(54) Title: MAGNETIZATION ROTATIONAL ELEMENT, MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT, AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁化回転素子、磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ



(57) Abstract: This magnetization rotary element comprises spin-orbit torque wiring and a first ferromagnetic layer that is in contact with the spin-orbit torque wiring, wherein said wiring comprises, in order of proximity to the first ferromagnetic layer, a first layer, a second layer, and a third layer, and the linear expansion coefficient of the material constituting the second layer is between the linear expansion coefficient of the material constituting the first layer and the linear expansion coefficient of the material constituting the third layer.

[続葉有]

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, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(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接する第1強磁性層と、を備え、前記配線は、前記第1強磁性層に近い側から順に、第1層と、第2層と、第3層と、を有し、前記第2層を構成する材料の線膨張係数は、前記第1層を構成する材料の線膨張係数と前記第3層を構成する材料の線膨張係数との間である。

明 細 書

発明の名称：磁化回転素子、磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ 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に関する。本願は、2020年11月16日に、国際段階に出願されたPCT/JP2020/042602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。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。

[0006] 特許文献1には、スピン軌道トルクを利用した磁気抵抗効果素子において、スピン軌道トルク配線を積層膜とし積層界面を増やすことで、強磁性層の磁化反転が容易になることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特許第6426330号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] スピン軌道トルク配線は、書き込み電流を印加することで発熱しやすい。スピン軌道トルク配線が発熱すると、スピン軌道トルク配線に熱応力が加わる。スピン軌道トルク配線が複数の層からなる場合、各層の膨張率の違いによりスピン軌道トルク配線に歪が生じる場合がある。歪は、クラックや積層膜の層間の剥離の原因となる。

[0009] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、歪によるスピン軌道トルク配線の劣化を抑制できる磁化回転素子、磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ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

[0010] 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。

[0011] (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接する第1強磁性層と、を備え、前記スピン軌道トルク配線は、前記第1強磁性層に近い側から順に、第1層と、第2層と、第3層と、を有し、前記第2層を構成する材料の線膨張係数は、前記第1層を構成する材料の線膨張係数と前記第3層を構成する材料の線膨張係数との間である。

- [0012] (2) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第1層は、主元素として第1元素を含み、前記第2層は、主元素として前記第1元素と異なる第2元素を含み、前記第3層は、主元素として前記第1元素及び前記第2元素と異なる第3元素を含み、前記第2元素の線膨張係数は、前記第1元素の線膨張係数と前記第3元素の線膨張係数との間であってもよい。
- [0013] (3) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第1層は、主元素として第1元素を含み、前記第2層は、主元素として前記第1元素と異なる第2元素を含み、前記第3層は、主元素として前記第1元素及び前記第2元素と異なる第3元素を含み、前記第1元素及び前記第3元素は、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、W、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つであり、前記第2元素は、Ag、Au、Bi、Co、Cr、Cu、Fe、Ge、Hf、Ir、Mo、Ni、Pd、Pt、Rh、Ru、Taのいずれか一つであってもよい。
- [0014] (4) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第1元素は、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、Wのいずれか一つであり、前記第2元素は、Ag、Au、Bi、Co、Cr、Cu、Fe、Ge、Hf、Ir、Mo、Ni、Pd、Pt、Rh、Ru、Taのいずれか一つであり、前記第3元素は、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つであってもよい。
- [0015] (5) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第1層の周囲長は、前記第2層及び前記第3層の周囲長より短く、前記第2層の周囲長は、前記第3層の周囲長より短くてもよい。
- [0016] (6) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第1層の周囲長は、前記第2層及び前記第3層の周囲長より長く、前記第2層の周囲長は、前記第3層の周囲長より長くてもよい。
- [0017] (7) 上記態様にかかる磁化回転素子は、前記第2層と同じ材料を含む第4層と、前記第1層又は第3層と同じ材料を含む第5層と、をさらに備えてもよい。前記第4層は、前記第5層と前記第3層との間にある。

- [0018] (8) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第2層の膜厚は、前記第1層及び前記第3層の膜厚より薄くてもよい。
- [0019] (9) 上記態様にかかる磁化回転素子において、前記第2層は、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あってもよい。
- [0020] (10) 上記態様にかかる磁化回転素子は、前記スピン軌道トルク配線に接する中間層と、前記中間層を介して前記スピン軌道トルク配線と接続される導電層と、をさらに備え、前記中間層を構成する材料の線膨張係数は、前記中間層に接する層の線膨張係数と前記導電層の線膨張係数との間であってもよい。
- [0021] (11) 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。
- [0022] (12) 第3の態様にかかる磁気メモリは上記の磁気抵抗効果素子を複数備える。

発明の効果

- [0023] 本発明にかかる磁化回転素子、磁気抵抗効果素子及び磁気メモリは、歪によるスピン軌道トルク配線の劣化を抑制できる。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1]第1実施形態にかかる磁気アレイの回路図である。
- [図2]第1実施形態にかかる磁気アレイ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]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6]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7]第2変形例にかかる第2層の平面図の一例である。
- [図8]第2変形例にかかる第2層の平面図の別の例である。
- [図9]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10]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11]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

[0025] 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。

[0026] 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。

[0027] 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。

[0028] 「第1実施形態」

図1は、第1実施形態にかかる磁気アレイ200の構成図である。磁気アレイ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CLと、複数の読出し配線RLと、複数の第1スイッチング素子Sw1と、複数の第2スイッチング素子Sw2と、複数の第3スイッチング素子Sw3と、を備える。磁気アレイ200は、例えば、磁気メモリ等に利用できる。

[0029] 書き込み配線WL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CL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CL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CL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RL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、使用時に磁気アレイ200に接続される。

[0030] 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Sw1、第2スイッチング素子Sw2、第3スイッチング素子Sw3に接続されている。第1スイッチング素子Sw1は、磁気抵抗効果素子100と書き込み配線WLとの間に接続されている。第2スイッチング素子Sw2は、磁気抵抗効果素子100のと共通配線CLとの間に接続されている。第3スイッチング素子Sw3は、複数の磁気抵抗効果素子100に亘る読出し配線RLに接続されている。

[0031] 第1スイッチング素子Sw1及び第2スイッチング素子Sw2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WLと共通配線CL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Sw2及び第3スイッチング素子Sw3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CLと読出し配線RL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。

[0032] 第1スイッチング素子Sw1、第2スイッチング素子Sw2及び第3スイッチング素子Sw3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Sw1、第2スイッチング素子Sw2及び第3スイッチング素子Sw3は、例えば、トランジスタ、オボニック閾値スイッチ（OTS: Ovonic Threshold Switch）である。

reshold 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。

[0033] 図 1 に示す磁気アレイ 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 Sw 3 を共用している。第 3 スイッチング素子 Sw 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 Sw 3 を設け、第 1 スイッチング素子 Sw 1 又は第 2 スイッチング素子 Sw 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。

[0034] 図 2 は、第 1 実施形態に係る磁気アレイ 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 x z 平面で切断した断面である。

[0035] 図 2 に示す第 1 スイッチング素子 Sw 1 及び第 2 スイッチング素子 Sw 2 は、トランジスタ Tr である。第 3 スイッチング素子 Sw 3 は、読出し配線 RL と電氣的に接続され、例えば、図 2 の y 方向に位置する。トランジスタ Tr 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 GI と基板 Sub に形成されたソース S 及びドレイン D とを有する。基板 Sub は、例えば、半導体基板である。

[0036] トランジスタ Tr 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 Tr と書き込み配線 WL 又は共通配線 CL 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。

[0037] 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 (S

i N_x)、炭化シリコン (S i C)、窒化クロム、炭窒化シリコン (S i C N)、酸窒化シリコン (S i O N)、酸化アルミニウム (A l₂ O₃)、酸化ジルコニウム (Z r O_x)、酸化マグネシウム (M g O)、窒化アルミニウム (A l N) 等である。

[0038] 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。

[0039] 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と電氣的に接している。積層体10は、例えば、スピン軌道トルク配線20と物理的に接している。積層体10は、例えば、スピン軌道トルク配線20の上又は上方に積層されている。積層体10とスピン軌道トルク配線20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。

[0040] 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。

[0041] 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10sは、例えば、z方向に対して傾斜する。

[0042] 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2強磁性層2は、第1強磁性層1のz方向にある。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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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X₂YZ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、Co₂FeSi、Co₂FeGe、Co₂FeGa、Co₂MnSi、Co₂Mn_{1-a}Fe_aAl_bSi_{1-b}、Co₂FeGe_{1-c}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。

[0046] 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 、 Cu(In, Ga)Se_2 等を用いることができる。

[0047] 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。

[0048] 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有してもよい。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。

[0049] 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。

[0050] スピン軌道トルク配線20は、電流 I が流れる際のスピンホール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。スピンホール効果は、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。スピンホール効果は、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、スピンホール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。

[0051] 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ンホール効果によって曲げられる。例えば、-y方向に配向した第1スピンの+z方向に曲げられ、+y方向に配向した第2スピンの-z方向に曲げられる。

[0052] 非磁性体（強磁性体ではない材料）は、スピンホール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。

[0053] 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。

[0054] スピン軌道トルク配線20は、第1強磁性層1に近い側から順に、第1層21と、第2層22と、第3層23と、を有する。第2層22は、第1層21と第3層23との間にある。第1層21は、第3層23より第1強磁性層1の近くにある。第1層21、第2層22、第3層23はそれぞれ、構成す

る材料又は組成が異なる。

[0055] 第2層22を構成する材料の線膨張係数は、第1層21を構成する材料の線膨張係数と第3層23を構成する材料の線膨張係数との間である。例えば、第2層22を構成する材料の線膨張係数は、第1層21を構成する材料の線膨張係数より大きく、第3層23を構成する材料の線膨張係数より小さい。この場合、第3層23を構成する材料の線膨張係数と第2層22を構成する材料の線膨張係数の差は、第3層23を構成する材料の線膨張係数と第1層21を構成する材料の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましく、第2層22を構成する材料の線膨張係数と第1層21を構成する材料の線膨張係数の差は、第3層23を構成する材料の線膨張係数と第1層21を構成する材料の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましい。また例えば、第2層22を構成する材料の線膨張係数は、第1層21を構成する材料の線膨張係数より小さく、第3層23を構成する材料の線膨張係数より大きい。この場合、第1層21を構成する材料の線膨張係数と第2層22を構成する材料の線膨張係数の差は、第1層21を構成する材料の線膨張係数と第3層23を構成する材料の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましく、第2層22を構成する材料の線膨張係数と第3層23を構成する材料の線膨張係数の差は、第1層21を構成する材料の線膨張係数と第3層23を構成する材料の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましい。当該構成を満たすことで、第2層22が第1層21及び第3層に加わる熱応力を緩和する。第2層22は、応力緩和層である。

[0056] 線膨張係数は、温度の上昇に対応して長さが変化する割合であり、 $\alpha = 1 / \Delta T \times \Delta L / L$ で表される。 α は線膨張係数であり、 ΔT は温度変化であり、 ΔL は長さ変化量であり、 L は長さである。線膨張係数は、使用温度域における線膨張係数であり、算出の基準となる長さ L は使用温度域における長さである。使用温度域とは、磁気抵抗効果素子100が最も使用される頻度が高い温度であり、常温で駆動させる場合は通常25℃である。線膨張係数には厚みのパラメータがないため、各層を構成する材料を各層と同条件で

測定可能な程度に厚めに成膜し、成膜された膜を評価することで求めることができる。

[0057] また各層を構成する主元素が特定の元素の場合は、主元素の線膨張係数を各層の線膨張係数とみなしてもよい。主元素は、各層を構成する元素のうち組成比が最も多い元素である。各層を構成する元素のうち主元素が占める割合が50%以上の場合に、主元素の線膨張係数をおおよそその各層の線膨張係数とみなすことができる。以下の表に、一部の元素の線膨張係数を示す。

[0058]

[表1]

物質：単体	元素記号	原子番号	熱膨張係数 ($10^{-6}/K$)			
			100K (-173°C)	293K (20°C)	500K (227°C)	25°C
炭素（ダイヤモンド）	C	6	0.05	1	2.3	0.8
シリコン（ケイ素）	Si	14	-0.4	2.6	3.5	2.6
タングステン	W	74	2.6	4.5	4.6	4.5
モリブデン	Mo	42		5.2		4.8
クロム	Cr	24	2.3	4.9	8.8	4.9
ホウ素	B	5		4.7	5.4	5
オスミウム	Os	76	-	4.7	-	5.1
ハフニウム	Hf	72				5.9
ゲルマニウム	Ge	32	2.4	5.7	6.5	6
タンタル	Ta	73	4.8	6.3	6.8	6.3
ルテニウム	Ru	44				6.4
イリジウム	Ir	77	4.4	6.4	7.2	6.4
ロジウム	Rh	45	5	8.2	9.3	8.2
バナジウム	V	23	5.1	8.4	9.9	8.4
チタン	Ti	22	4.5	8.6	9.9	8.6
白金	Pt	78	6.6	8.8	9.6	8.8
アンチモン	Sb	51	9.1	11	11.7	11
鉄	Fe	26	5.6	11.8	14.4	11.8
パラジウム	Pd	46	8	11.8	13.2	11.8
コバルト	Co	27	6.8	13	15	13
ニッケル	Ni	28	6.6	13.4	15.3	13.4
ビスマス	Bi	83	12.3	13.4	12.7	13.4
金	Au	79	11.8	14.2	15.4	14.2
銅	Cu	29	10.3	16.5	18.3	16.5
銀	Ag	47	14.2	18.9	20.6	18.9
マンガン	Mn	25				21.7
スズ	Sn	50	16.5	22	27.2	22
アルミニウム	Al	13	12.2	23.1	26.4	23.1
マグネシウム	Mg	12	14.6	24.8	29.1	24.8
鉛	Pb	82	25.6	28.9	33.3	28.9
亜鉛	Zn	30	24.5	30.2	32.8	30.2
カドミウム	Cd	48	26.9	30.8	36	30.8
インジウム	In	49	25.4	32.1	-	32.1
カリウム	K	19	-	85	-	83.3
ベリリウム	Be	4	1.3	11.3	15.1	
炭素（石墨）	C	6		3.1	3.3	
テルル	Te	52	-	16.8	-	

[0059] 例えば、第1層21が主元素として第1元素を含み、第2層が主元素として第2元素を含み、第3層が主元素として第3元素を含む場合、第2元素の

線膨張係数は、第1元素の線膨張係数と第3元素の線膨張係数との間であることが好ましい。例えば、第2元素の線膨張係数は、第1元素の線膨張係数より大きく、第3元素の線膨張係数より小さいことが好ましい。この場合、第3元素の線膨張係数と第2元素の線膨張係数の差は、第3元素の線膨張係数と第1元素の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましく、第2元素の線膨張係数と第1元素の線膨張係数の差は、第3元素の線膨張係数と第1元素の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましい。また例えば、第2元素の線膨張係数は、第1元素の線膨張係数より小さく、第3元素の線膨張係数より大きいことが好ましい。この場合、第1元素の線膨張係数と第2元素の線膨張係数の差は、第1元素の線膨張係数と第3元素の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましく、第2元素の線膨張係数と第3元素の線膨張係数の差は、第1元素の線膨張係数と第3元素の線膨張係数の差の70%以下であることが好ましい。

[0060] 第1層21は、例えば、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、W、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つ以上を含む。第1層21の主元素（第1元素）は、例えば、これらの元素のうちのいずれかである。第1層21は、単体金属でも、合金でも、金属間化合物でも、窒化物でもよい。

[0061] 第1層21は、第2層22及び第3層23と比較して第1強磁性層1の近くにあり、第1層21で生じたスピンは第1強磁性層1に至るまでに拡散しにくい。したがって、第1層21は、多くのスピンを第1強磁性層1に注入できる材料であることが好ましい。

[0062] 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。したがって、第1層21は、非磁性層の重金属を含むことが好ましい。重金属は、イットリウム（Y）以上の比重を有する金属を意味する。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層21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層21の主元素（第1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。

[0063] 第2層22は、例えば、Ag、Au、Bi、Co、Cr、Cu、Fe、Ge、Hf、Ir、Mo、Ni、Pd、Pt、Rh、Ru、Taのいずれか一つ以上を含む。第2層22の主元素（第2元素）は、例えば、これらの元素のうちのいずれかである。第2層22は、単体金属でも、合金でも、金属間化合物でも、窒化物でもよい。

[0064] 第3層23は、例えば、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、W、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つ以上を含む。第3層23の主元素（第3元素）は、例えば、これらの元素のうちのいずれかである。第3層23は、単体金属でも、合金でも、金属間化合物でも、窒化物でもよい。

[0065] 第3層23は、第1層21及び第2層22と比較して第1強磁性層1から遠くにあり、第3層23で生じたスピンの一部は、第1強磁性層1に至るまでに拡散される。したがって、第3層23は、多くのスピンを生み出すという機能以外の機能を有していることが好ましい。

[0066] 軽金属は、重金属と比較して電気伝導性に優れ、熱伝導性に優れる。したがって、第3層23は、軽金属を含むことが好ましい。第3層23は、例えば、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つ以上を含む。第3層23の主元素（第3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。

[0067] 第1元素、第2元素及び第3元素は、上記の元素からそれぞれ任意に選択される訳ではなく、第2元素の線膨張係数が第1元素の線膨張係数と第3元素の線膨張係数との間となるように選択される。

[0068] 例えば、第1元素をW、第2元素をIr、第3元素をCuとする組み合わせ、第1元素をW、第2元素をPt、第3元素をCuとする組み合わせ、第1元素をW、第2元素をTa、第3元素をCuとする組み合わせ、第1元素をW、第2元素をHf、第3元素をCuとする組み合わせとが挙げられる。

- [0069] スピン軌道トルク配線 20 の側面 20s は、例えば、z 方向に対して傾斜する。そのため、第 1 層 21 の周囲長は、第 2 層 22 及び第 3 層 23 の周囲長より短く、第 2 層 22 の周囲長は、第 3 層 23 の周囲長より短い。周囲長は、各層の基板 Sub から遠い上面の周囲長である。z 方向に x 方向の幅が短くなると、第 1 導電層 31 と第 2 導電層 32 との間の電流の流れがスムーズになる。側壁 20s が z 方向に対して傾斜することで、スピン軌道トルク配線 20 の表面積が大きくなり、放熱性が向上する。
- [0070] また第 1 層 21 の x 方向の長さが第 3 層 23 の x 方向の長さより短い場合は、 $\alpha = 1 / \Delta T \times \Delta L / L$ の関係式より、第 1 層 21 の線膨張係数は第 3 層 23 の線膨張係数より大きくなる。各層の線膨張係数が、「第 3 層 23 の線膨張係数」>「第 2 層 22 の線膨張係数」>「第 1 層 21 の線膨張係数」の関係を満たす場合、各層の線膨張係数の差を小さくできる。
- [0071] 第 2 層 22 の膜厚は、例えば、第 1 層 21 及び第 3 層 23 の膜厚より薄い。第 3 層 23 で生じたスピンの第 2 層 22 で拡散されることを抑制できる。
- [0072] また第 1 層 21 の膜厚は、例えば、第 3 層の膜厚より厚い。第 1 層 21 は、第 1 強磁性層 1 と接するため、当該層が厚いと、第 1 強磁性層 1 へのスピン注入効率が高まる。
- [0073] スピン軌道トルク配線 20 を構成する各層は、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。
- [0074] 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。
- [0075] 次に、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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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、金属層、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、金属層、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。金属層は所定の形状に加工されることで、スピントルク配線20となる。

[0079] 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、スピントルク配線20の周囲を絶縁層Inで埋め、磁気抵抗効果素子100が得られる。

[0080] 第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子100は、第2層22を構成する材料の線膨張係数が、第1層21を構成する材料の線膨張係数と第3層23を構成する材料の線膨張係数との間であることで、スピントルク配線20に生じる熱応力を緩和できる。その結果、磁気抵抗効果素子100は、書き

込み時に発生する熱により層間の剥離やクラック等が生じることを抑制でき、スピン軌道トルク配線 20 の劣化を防ぐことができる。

[0081] 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。

[0082] 図 5 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 5 は、スピン軌道トルク配線 26 の y 方向の中心を通る x-z 断面である。図 5 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。

[0083] スピン軌道トルク配線 26 は、第 1 層 21 と第 2 層 22 と第 3 層 23 と第 4 層 24 と第 5 層 25 とを有する。第 4 層 24 は、第 3 層 23 と第 5 層 25 との間にある。図 5 では、第 4 層 24 と第 5 層 25 がそれぞれ 1 層ずつの例を示したが、それぞれ複数層あってもよい。第 4 層 24 及び第 5 層 25 が複数層ある場合、第 3 層 23 に近い側から第 4 層 24、第 5 層 25 の順に、第 4 層 24 と第 5 層 25 とが交互に積層される。

[0084] 第 4 層 24 は、第 2 層 22 と同じ材料を含む。第 4 層 24 は、例えば、第 2 層 22 と同じ材料からなる。第 5 層 25 は、第 1 層 21 又は第 3 層 23 と同じ材料を含む。第 5 層 25 は、例えば、第 1 層 21 又は第 3 層 23 と同じ材料からなる。

[0085] 第 1 変形例にかかる磁気抵抗効果素子 101 は、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。またスピン軌道トルク配線 25 を構成する層数が多くなると、電流が各層に分流することで、それぞれの層を流れる電流量が小さくなる。そのため、各層での発熱が抑えられ、熱応力の発生を抑制できる。またスピン軌道トルク配線 25 の中に異種物質の界面が増えることで、ラシュバ効果が増幅され、第 1 強磁性層 1 の磁化の反転効率を高めることができる。

[0086] 図 6 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 6 は、スピン軌道トルク配線 27 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。

- [0087] スピン軌道トルク配線 27 は、第 1 層 21 と第 2 層 22 A と第 3 層 23 とを有する。第 2 層 22 A は、一様な連続膜ではなく、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ある点が、第 1 実施形態にかかる第 2 層 22 と異なる。
- [0088] 図 7 及び図 8 は、第 2 変形例に係る磁気抵抗効果素子 102 の平面図である。図 7 に示す第 2 層 22 A は、複数の開口 AP を有する連続膜の例である。図 8 に示す第 2 層 22 A は、島状に点在する複数の構成要素 EL を含む層の例である。第 2 層 22 A の膜厚が薄い場合は、一様な連続膜とならない場合もある。開口 AP、構成要素 EL の間は、第 1 層 21 又は第 3 層 23 の材料が充填される。
- [0089] 第 2 変形例にかかる磁気抵抗効果素子 102 は、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。また開口 AP、構成要素 EL の間で、面内方向に生じる応力が緩和される。その結果、スピン軌道トルク配線 26 の劣化を防ぐことができる。
- [0090] 図 9 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 9 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 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。
- [0091] 磁気抵抗効果素子 103 は、中間層 40 を有する点が、第 1 実施形態にかかる磁気抵抗効果素子 100 と異なる。中間層 40 は、第 1 導電層 31 とスピン軌道トルク配線 20 との間、及び、第 2 導電層 32 とスピン軌道トルク配線 20 との間にそれぞれある。中間層 40 は、第 1 導電層 31 とスピン軌道トルク配線 20 との間と、第 2 導電層 32 とスピン軌道トルク配線 20 との間とのうちの一方のみにあってもよい。
- [0092] 中間層 40 を構成する材料の線膨張係数は、例えば、第 3 層 23 の線膨張係数と第 1 導電層 31 又は第 2 導電層 32 との間である。第 4 層 40 が第 1 層 21 と接する場合は、第 4 層 40 を構成する材料の線膨張係数は、例えば、第 1 層 21 の線膨張係数と第 1 導電層 31 又は第 2 導電層 32 との間である。

[0093] 第3変形例にかかる磁気抵抗効果素子103は、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。また中間層40が第1導電層31又は第2導電層32とスピン軌道トルク配線20との間の熱応力差を緩和し、これらの界面での剥離等を抑制できる。

[0094] 図10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10は、スピン軌道トルク配線28のy方向の中心を通るxz断面である。図10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。

[0095] 図10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。スピン軌道トルク配線28は、基板Subに近い側から順に、第1層21、第2層22、第3層23の順に積層されている。

[0096] スピン軌道トルク配線28は、例えば、積層体10上にある。スピン軌道トルク配線28の側面28sは、例えば、z方向に対して傾斜する。そのため、第1層21の周囲長は、第2層22及び第3層23の周囲長より長く、第2層22の周囲長は、第3層23の周囲長より長い。この場合、また第1層21のx方向の長さが第3層23のx方向の長さより長くなる。したがって、各層の線膨張係数が、「第1層21の線膨張係数」>「第2層22の線膨張係数」>「第3層23の線膨張係数」の関係を満たす場合、各層の線膨張係数の差を小さくできる。

[0097] 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。また側壁28sがz方向に対して傾斜することで、スピン軌道トルク配線28の表面積が大きくなり、放熱性が向上する。

[0098] 「第2実施形態」

図11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1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100と置き換えられる。

[0099] 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。

[0100] 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。

[0101] 磁化回転素子 105 のスピン軌道トルク配線 20 は、第 1 層 21、第 2 層 22 及び第 3 層 23 を有する。

[0102] 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。

[0103] 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に適用してもよい。

符号の説明

[0104] 1…第 1 強磁性層、2…第 2 強磁性層、3…非磁性層、10…積層体、20、26、27、28…スピン軌道トルク配線、21…第 1 層、22、22A…第 2 層、23…第 3 層、24…第 4 層、25…第 5 層。31…第 1 導電層、32…第 2 導電層、40…第 4 層、100、101、102、103、104…磁気抵抗効果素子、105…磁化回転素子、200…磁気アレイ、CL…共通配線、RL…読出し配線、WL…書き込み配線

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上に接する第1強磁性層と、を備え、
前記スピン軌道トルク配線は、前記第1強磁性層に近い側から順に、
第1層と、第2層と、第3層と、を有し、
前記第2層を構成する材料の線膨張係数は、前記第1層を構成する材料の線膨張係数と前記第3層を構成する材料の線膨張係数との間である、磁化回転素子。
- [請求項2] 前記第1層は、主元素として第1元素を含み、
前記第2層は、主元素として前記第1元素と異なる第2元素を含み、
、
前記第3層は、主元素として前記第1元素及び前記第2元素と異なる第3元素を含み、
前記第2元素の線膨張係数は、前記第1元素の線膨張係数と前記第3元素の線膨張係数との間である、請求項1に記載の磁化回転素子。
- [請求項3] 前記第1層は、主元素として第1元素を含み、
前記第2層は、主元素として前記第1元素と異なる第2元素を含み、
、
前記第3層は、主元素として前記第1元素及び前記第2元素と異なる第3元素を含み、
前記第1元素及び前記第3元素は、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、W、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つであり、
前記第2元素は、Ag、Au、Bi、Co、Cr、Cu、Fe、Ge、Hf、Ir、Mo、Ni、Pd、Pt、Rh、Ru、Taのいずれか一つである、請求項1又は2に記載の磁化回転素子。
- [請求項4] 前記第1元素は、Au、Bi、Hf、Ir、Mo、Pd、Pt、Rh、Ru、Ta、Wのいずれか一つであり、

前記第2元素は、Ag、Au、Bi、Co、Cr、Cu、Fe、Ge、Hf、Ir、Mo、Ni、Pd、Pt、Rh、Ru、Taのいずれか一つであり、

前記第3元素は、Ag、Al、Cu、Ge、Siのいずれか一つである、請求項3に記載の磁化回転素子。

[請求項5] 前記第1層の周囲長は、前記第2層及び前記第3層の周囲長より短く、

前記第2層の周囲長は、前記第3層の周囲長より短い、請求項1～4のいずれか一項に記載の磁化回転素子。

[請求項6] 前記第1層の周囲長は、前記第2層及び前記第3層の周囲長より長く、

前記第2層の周囲長は、前記第3層の周囲長より長い、請求項1～4のいずれか一項に記載の磁化回転素子。

[請求項7] 前記第2層と同じ材料を含む第4層と、

前記第1層又は第3層と同じ材料を含む第5層と、をさらに備え、

前記第4層は、前記第5層と前記第3層との間にある、請求項1～6に記載の磁化回転素子。

[請求項8] 前記第2層の膜厚は、前記第1層及び前記第3層の膜厚より薄い、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] 前記第2層は、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] 前記スピン軌道トルク配線に接する中間層と、前記中間層を介して前記スピン軌道トルク配線と接続される導電層と、をさらに備え、

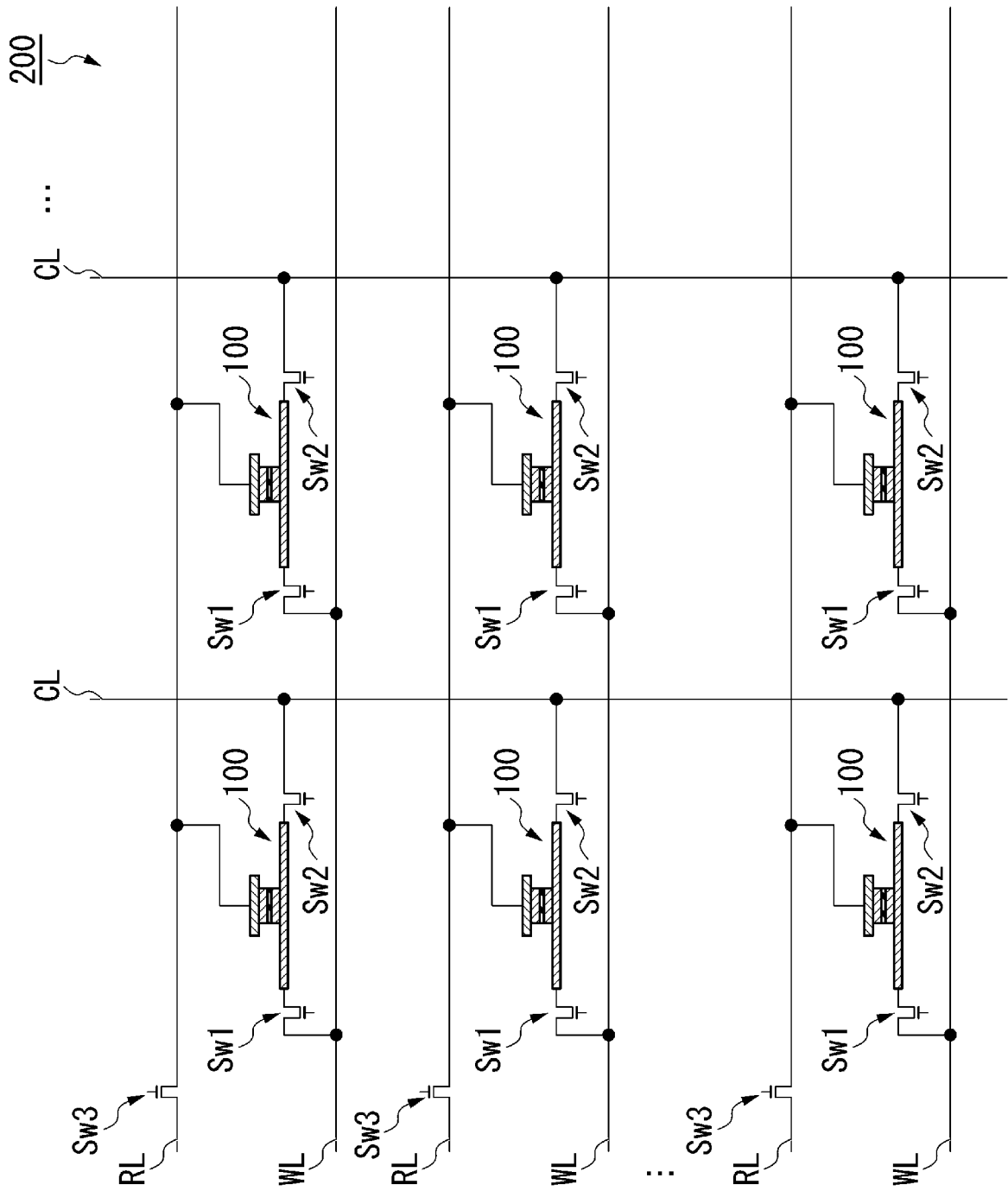
前記中間層を構成する材料の線膨張係数は、前記中間層に接する層の線膨張係数と前記導電層の線膨張係数との間である、請求項1～9のいずれか一項に記載の磁化回転素子。

[請求項11] 請求項1～10のいずれか一項に記載の磁化回転素子と、

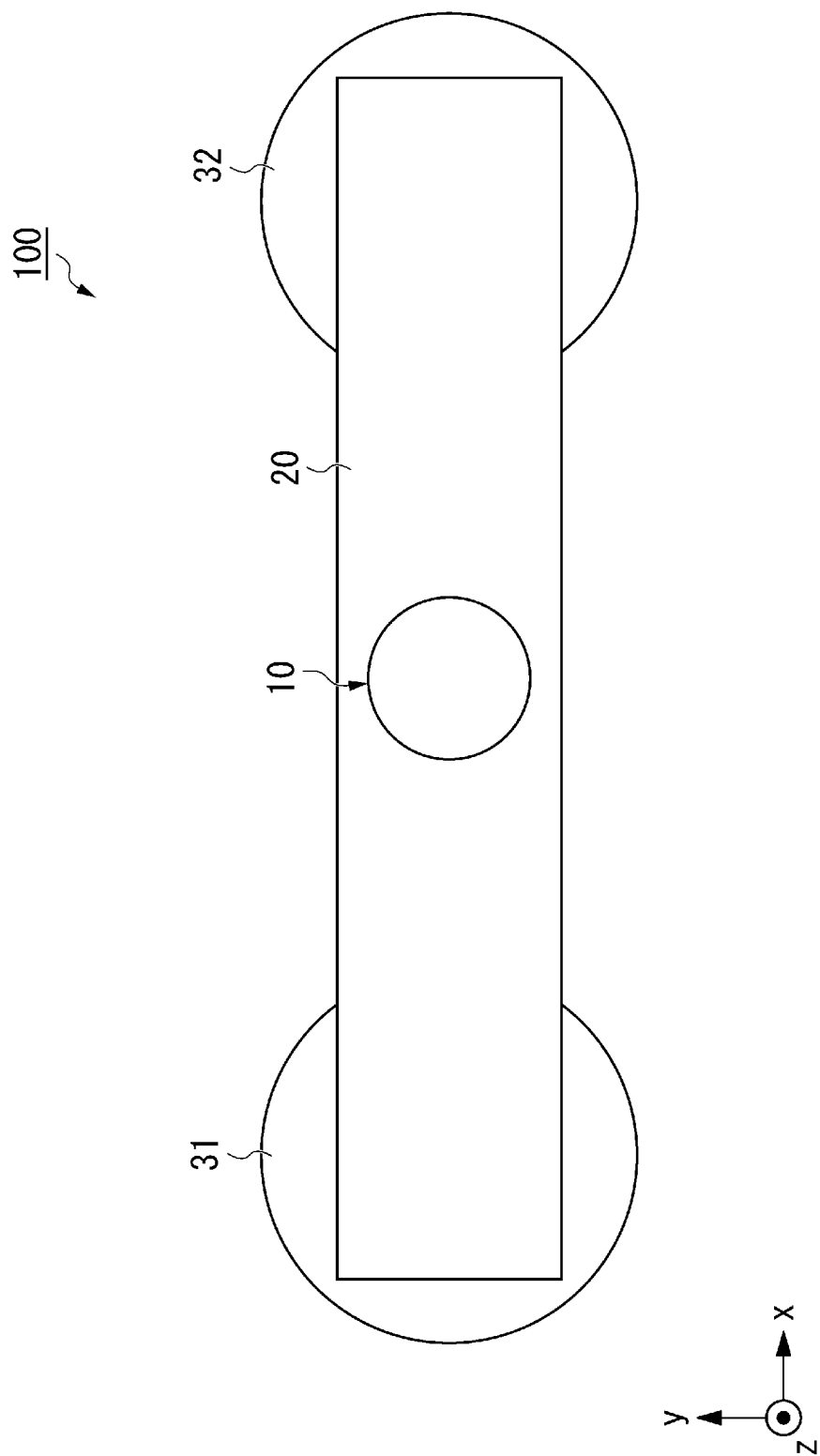
前記磁化回転素子の前記第 1 強磁性層に接する非磁性層と、
前記第 1 強磁性層と共に前記非磁性層を間に挟む第 2 強磁性層と、
を備える、磁気抵抗効果素子。

[請求項12] 請求項 1 1 に記載の磁気抵抗効果素子を複数備える、磁気メモリ。

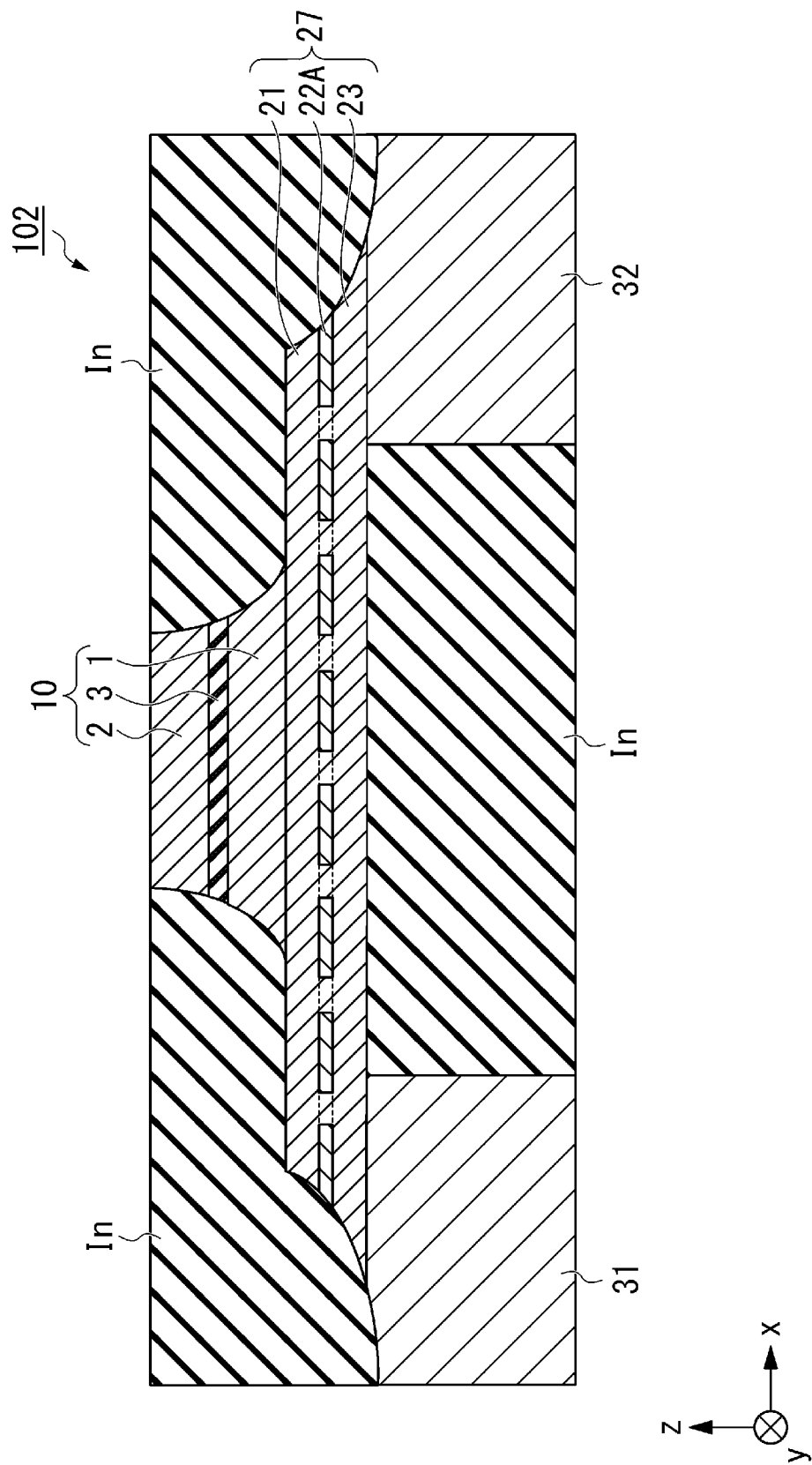
[図1]



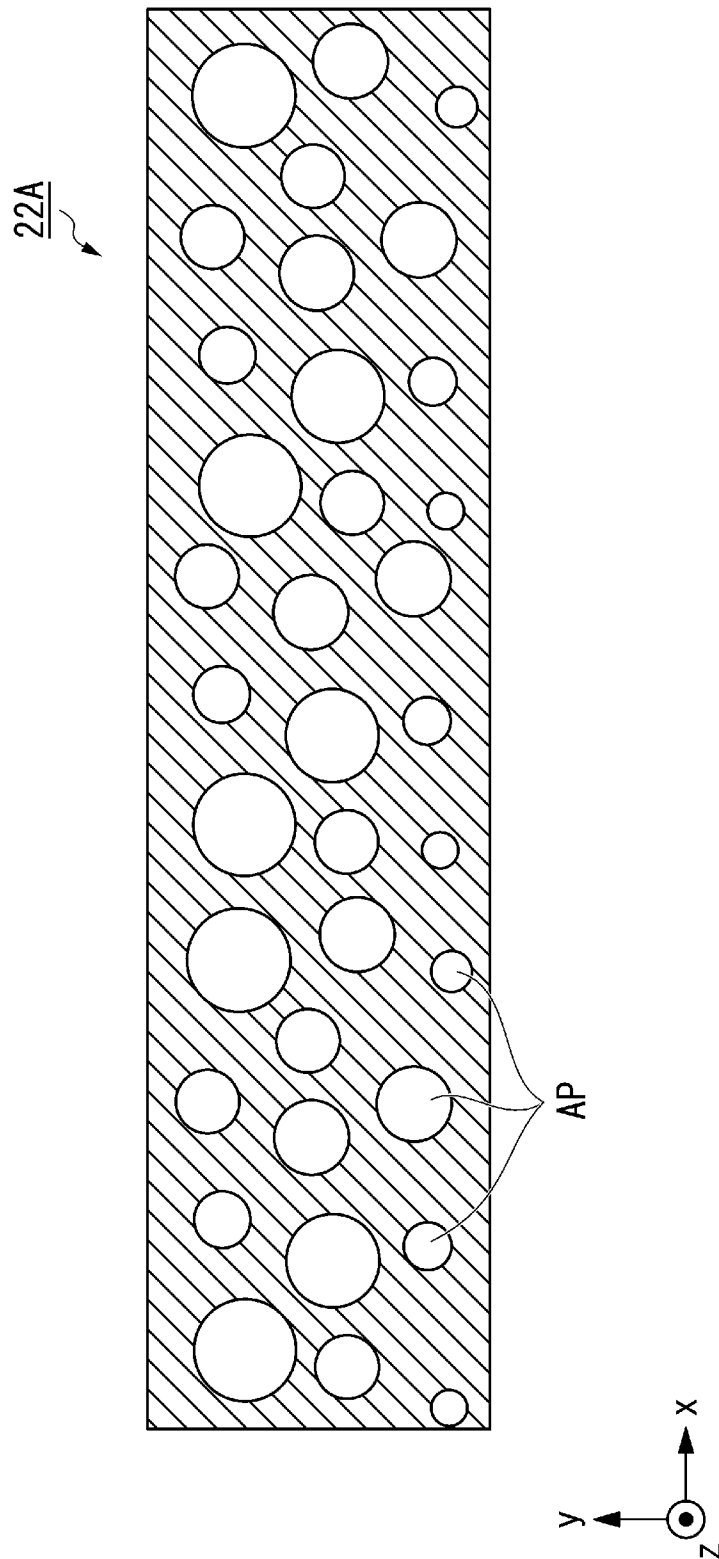
[図4]



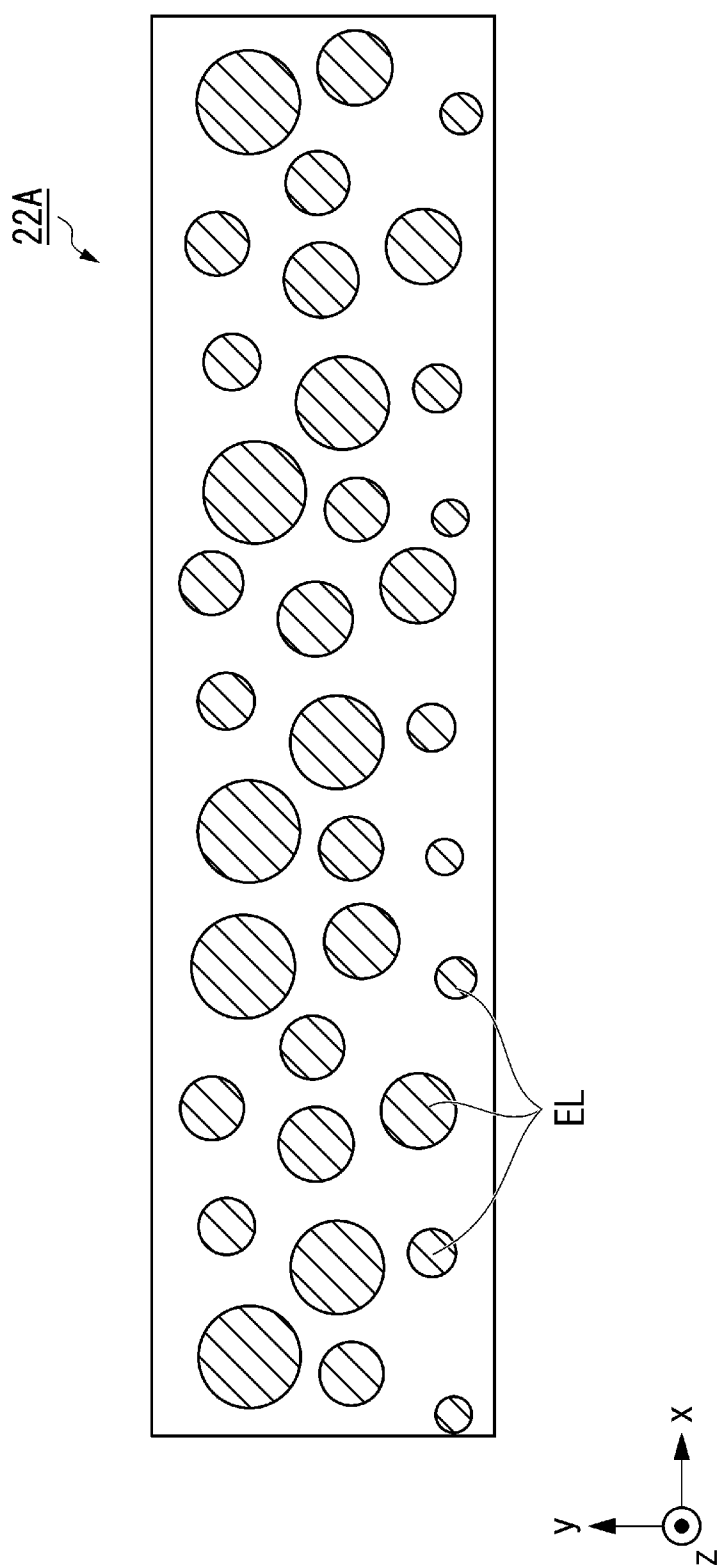
[図6]



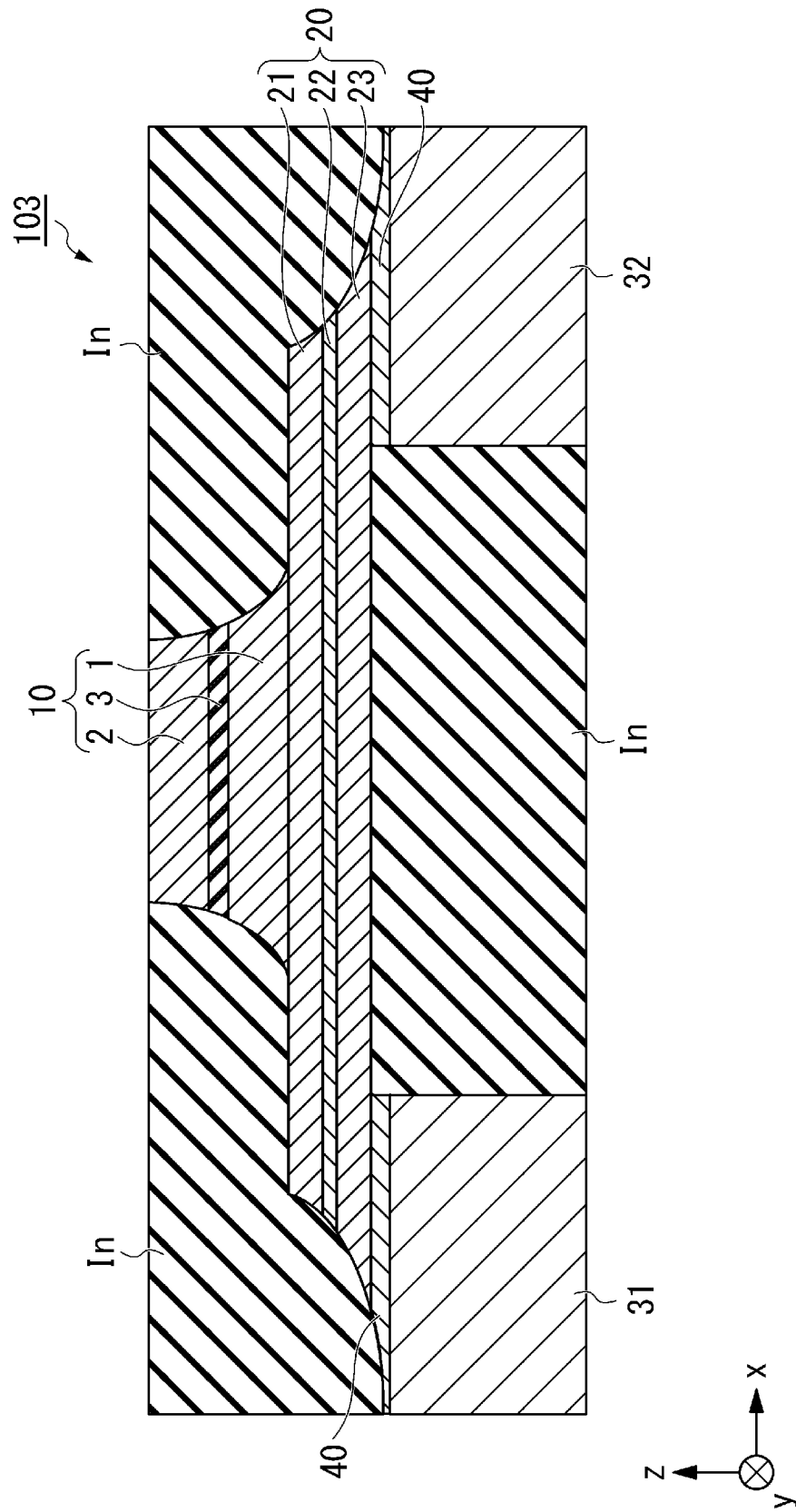
[図7]



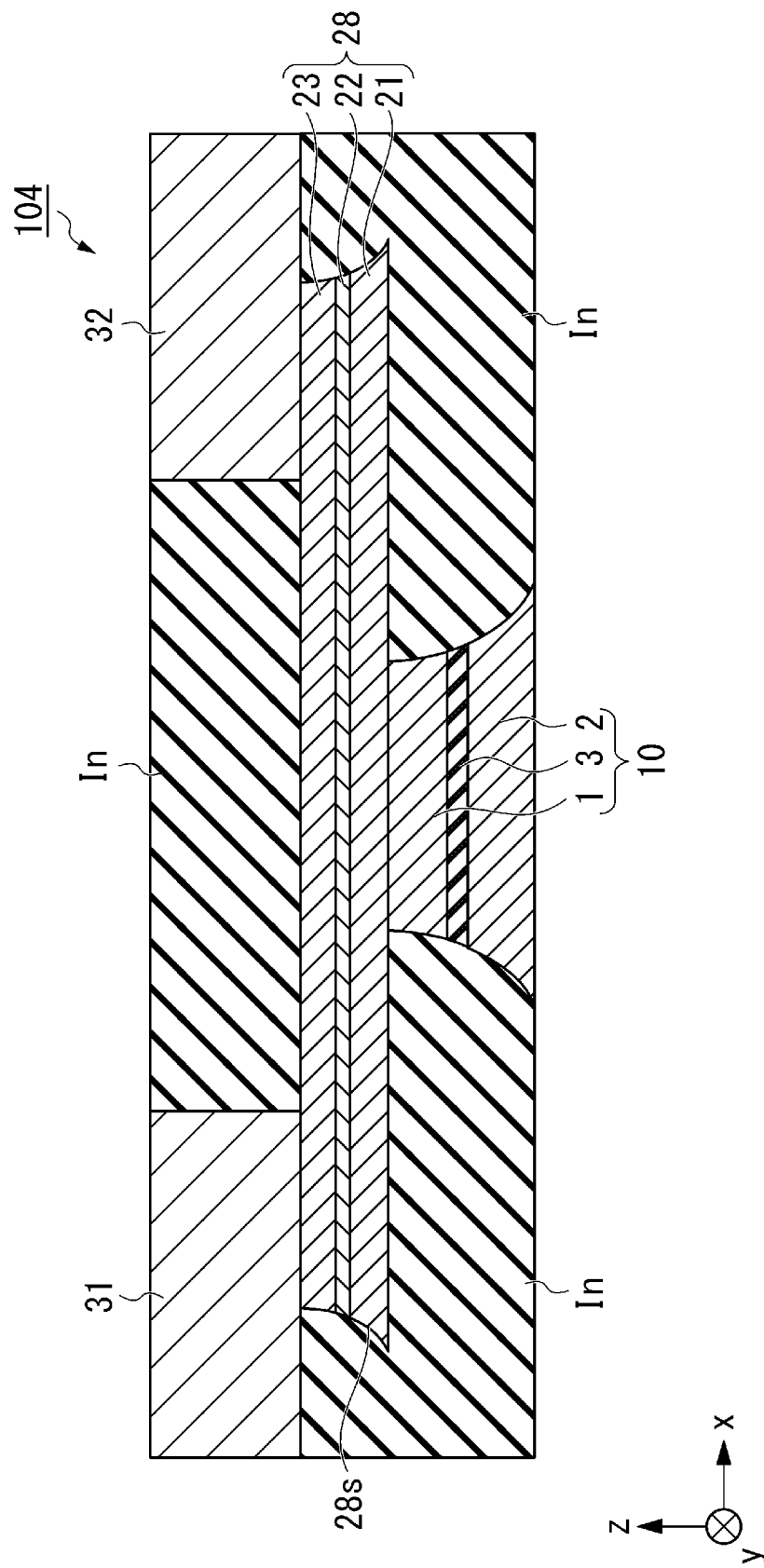
[図8]



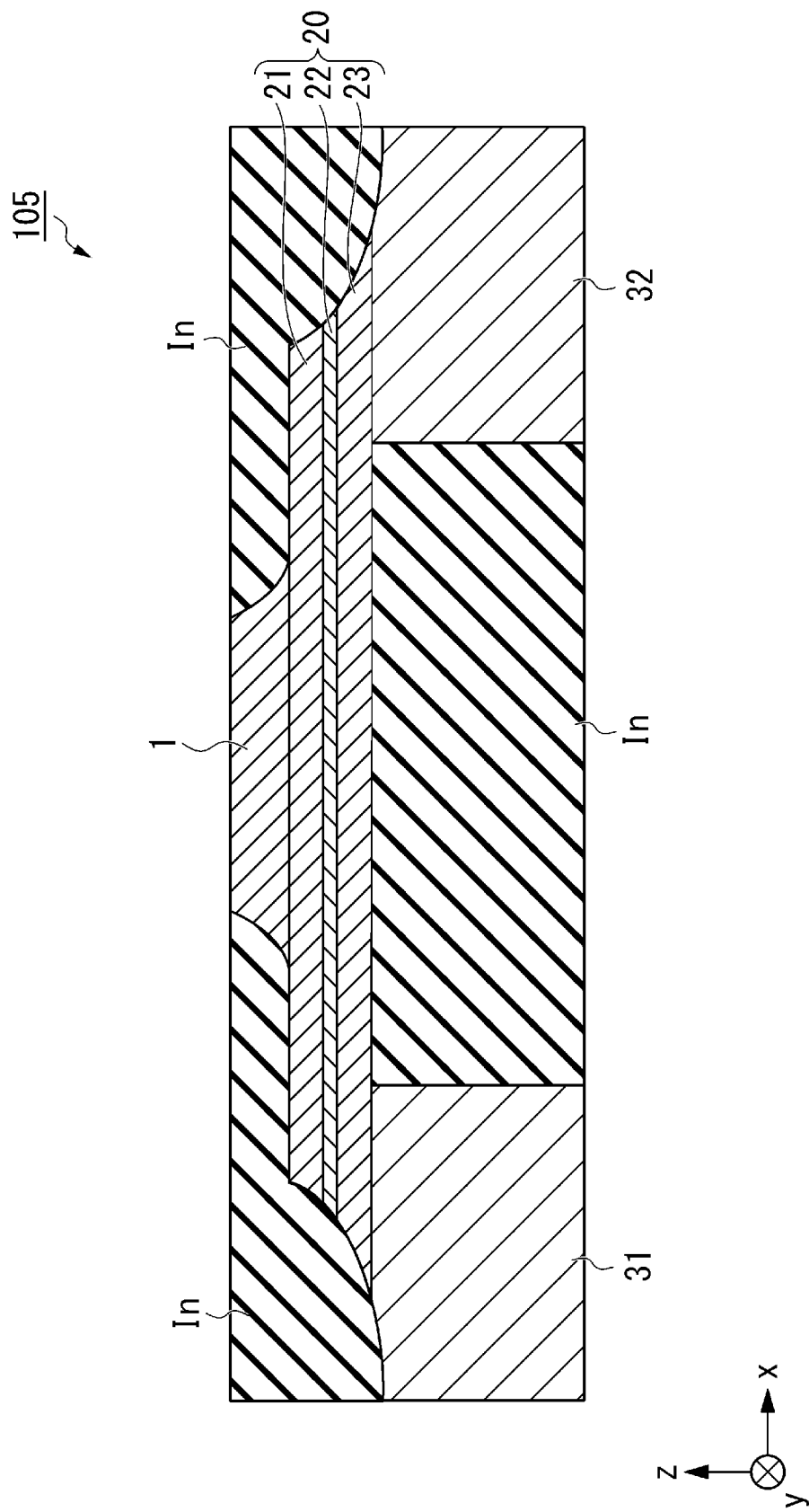
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/041886

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 43/10**(2006.01)i; **H01L 21/8239**(2006.01)i; **H01L 27/105**(2006.01)i; **H01L 29/82**(2006.01)i

FI: H01L43/10; H01L29/82 Z; H01L27/105 447

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)

H01L43/10; 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 1971-2021
 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	JP 2019-68086 A (TDK CORP.) 25 April 2019 (2019-04-25)	1-3, 7, 8, 11, 12
A	paragraphs [0025], [0030]-[0038], [0043], [0051], [0052], [0099], fig. 1, 3	4-6, 9, 10
Y	WO 2010/134378 A1 (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 25 November 2010 (2010-11-25)	1-5, 7, 8, 11, 12
A	paragraphs [0038], [0048]	6, 9, 10
Y	JP 2017-59594 A (TOSHIBA CORP.) 23 March 2017 (2017-03-23)	1-5, 11, 12
A	paragraphs [0012]-[0014], [0025], [0026], [0041]-[0043], [0062]-[0067], fig. 4, 7	6-10
A	JP 2019-57553 A (TOSHIBA CORP.) 11 April 2019 (2019-04-11)	1-12
	entire text, all drawings	
A	WO 2019/045055 A1 (TDK CORP.) 07 March 2019 (2019-03-07)	1-12
	entire text, all drawings	

☐ 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

24 December 2021

Date of mailing of the international search report

11 January 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 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/JP2021/041886

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-68086	A	25 April 2019	US 2019/0131517 A1 paragraphs [0034], [0041]- [0051], [0056], [0065], [0066], [0122], fig. 1A, 1B, 3	
				WO 2018/155078 A1	
				CN 108886062 A	
WO	2010/134378	A1	25 November 2010	US 2012/0075922 A1 paragraphs [0074], [0086]	
				EP 2434540 A1	
				KR 10-2012-0027122 A	
JP	2017-59594	A	23 March 2017	US 2017/0076769 A1 paragraphs [0023]-[0025], [0037], [0038], [0053]-[0055], [0075]-[0080], fig. 4, 7	
				US 2017/0179379 A1	
JP	2019-57553	A	11 April 2019	US 2019/0088859 A1 entire text, all drawings	
WO	2019/045055	A1	07 March 2019	JP 2019-47001 A	
				US 2021/0083175 A1 entire text, all drawings	
				CN 111052398 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 43/10(2006.01)i; H01L 21/8239(2006.01)i; H01L 27/105(2006.01)i; H01L 29/82(2006.01)i FI: H01L43/10; H01L29/82 Z; H01L27/105 447		
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）） H01L43/10; 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 1971-2021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 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 A	JP 2019-68086 A (TDK株式会社) 25.04.2019 (2019-04-25) [0025], [0030] - [0038], [0043], [0051], [0052], [0099], 図1, 3	1-3, 7, 8, 11, 12 4-6, 9, 10
Y A	WO 2010/134378 A1 (富士電機ホールディングス株式会社) 25.11.2010 (2010-11-25) [0038], [0048]	1-5, 7, 8, 11, 12 6, 9, 10
Y A	JP 2017-59594 A (株式会社東芝) 23.03.2017 (2017-03-23) [0012] - [0014], [0025], [0026], [0041] - [0043], [0062] - [0067], 図4, 7	1-5, 11, 12 6-10
A	JP 2019-57553 A (株式会社東芝) 11.04.2019 (2019-04-11) 全文, 全図	1-12
A	WO 2019/045055 A1 (TDK株式会社) 07.03.2019 (2019-03-07) 全文, 全図	1-12
☐ 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 “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 24.12.2021		国際調査報告の発送日 11.01.2022
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/JP2021/041886

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2019-68086	A	25.04.2019	US 2019/0131517 A1 [0034], [0041] - [0051], [0056], [0065], [0066], [0122], 図1A, 1B, 3 WO 2018/155078 A1 CN 108886062 A	
WO	2010/134378	A1	25.11.2010	US 2012/0075922 A1 [0074], [0086] EP 2434540 A1 KR 10-2012-0027122 A	
JP	2017-59594	A	23.03.2017	US 2017/0076769 A1 [0023] - [0025], [0037], [0038], [0053] - [0055], [0075] - [0080], 図4, 7 US 2017/0179379 A1	
JP	2019-57553	A	11.04.2019	US 2019/0088859 A1 全文, 全図	
WO	2019/045055	A1	07.03.2019	JP 2019-47001 A US 2021/0083175 A1 全文, 全図 CN 111052398 A	