

(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
2024年4月4日(04.04.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/069733 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/82 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/035871

(22) 国際出願日: 2022年9月27日(27.09.2022)

(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).

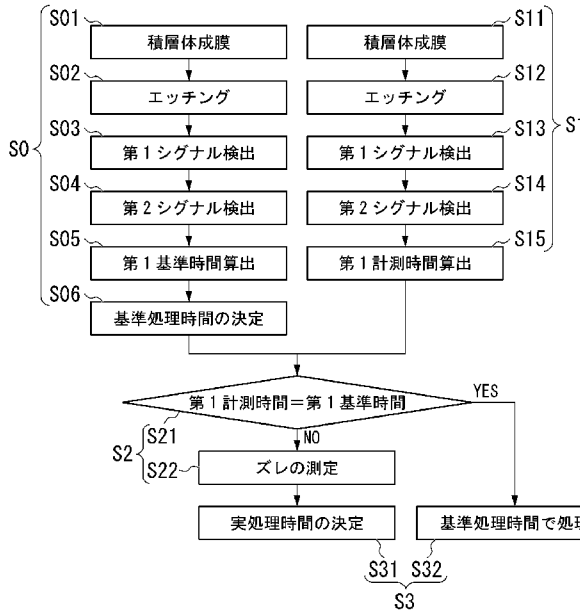
(72) 発明者: 小村 英嗣(KOMURA Eiji); 〒1036128
東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, 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.

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, AND MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子の製造方法及び磁気抵抗効果素子



S01, S11 Film formation of laminate
S02, S12 Etching
S03, S13 Detection of first signal
S04, S14 Detection of second signal
S05 Calculation of first reference time period
S06 Determination of reference time period
S15 Calculation of first measurement time period
S21 First measurement time period = first reference time period
S22 Measurement of deviation
S31 Determination of actual processing time period
S32 Processing with reference processing time period

(57) Abstract: According to the present invention, a method for manufacturing a magnetized rotary element has a measurement step, a comparison step, and a determination step. In the measurement step, a laminate comprising a first detection layer and a second detection layer is etched, and a first measurement time period from when a first signal originating from a first material included in the first detection layer is detected until a second signal originating from a second material included in the second detection layer is detected, is measured. In the comparison step, a first reference time period from when the first signal is detected until the second signal is detected when etching a reference laminate having the same

(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, SC, 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))

film formation as the laminate, and the first measurement time period are compared, and the deviation between the first reference time period and the first measurement time period is derived. In the determination step, a condition from when the second signal is detected until the etching is finished is determined from the deviation.

(57) 要約：この磁化回転素子の製造方法は、計測工程と、比較工程と、決定工程とを有する。計測工程では、第1検出層と第2検出層とを備える積層体をエッチングして、第1検出層に含まれる第1材料に由来する第1シグナルが検出されてから第2検出層に含まれる第2材料に由来する第2シグナルが検出されるまでの第1計測時間を計測する。比較工程では、前記積層体と同じ膜構成の基準積層体をエッチングした際に前記第1シグナルが検出されてから前記第2シグナルが検出されるまでの第1基準時間と、前記第1計測時間とを比較し、前記第1基準時間と前記第1計測時間とのずれを求める。決定工程では、前記ずれから前記第2シグナルが検出されてから前記エッチングを終了するまでの条件を決定する。

明 細 書

発明の名称：磁気抵抗効果素子の製造方法及び磁気抵抗効果素子 技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子の製造方法及び磁気抵抗効果素子に関する。

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（バリア層）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（例えば、特許文献1）。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ッ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] SOTを用いた磁気抵抗効果素子は、スピン流を生み出す配線層と、磁気抵抗変化が生じる積層体とを有する。積層体は、所定の形状に加工され、配線層と接する。積層体は、イオンビーム等を用いたエッチングによって所定の形状に加工される。エッチングの条件は、イオンビーム源に付着する汚れ等の出力側に起因する理由、積層体を構成する膜の膜質等の被照射体に起因する理由等の様々な要因によって、ばらつく場合がある。エッチングが必要以上に進行すると、磁気抵抗効果素子の性能に影響を及ぼす場合がある。

[0008] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、過剰なエッチングの進行を抑制できる磁気抵抗効果素子の製造方法、及び、その製造法によって作製される磁気抵抗効果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

[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の態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法は、計測工程と、比較工程と、決定工程とを有する。計測工程では、第1検出層と第2検出層とを備える積層体をエッチングして、第1検出層に含まれる第1材料に由来する第1シグナルが検出されてから第2検出層に含まれる第2材料に由来する第2シグナルが検出されるまでの第1計測時間を計測する。比較工程では、前記積層体と同じ膜構成の基準積層体をエッチングした際に前記第1シグナルが検出されてから前記第2シグナルが検出されるまでの第1基準時間と、前記第1計測時間とを比較し、前記第1基準時間と前記第1計測時間とのずれを求める。決定工程では、前記ずれを用いて前記第2シグナルが検出され

てから前記エッチングを終了するまでの条件を決定する。

- [0011] (2) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1材料と前記第2材料とが異なってもよい。
- [0012] (3) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1材料と前記第2材料とが同じでもよい。
- [0013] (4) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記積層体は、積層方向に、配線層、第1強磁性層、バリア層、第2強磁性層、非磁性層を順に有してもよい。また前記非磁性層が前記第1検出層であり、前記バリア層が前記第2検出層でもよい。
- [0014] (5) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記積層体は、積層方向に、配線層、第1強磁性層、バリア層、第2強磁性層、非磁性層を順に有してもよい。また前記非磁性層は、第1層、第2層、第3層を前記第2強磁性層側から順に有してもよい。また前記非磁性層の前記第3層が前記第1検出層であり、前記非磁性層の前記第1層が前記第2検出層でもよい。
- [0015] (6) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、第1検出層と前記第2検出層との間の距離が4 nm以上でもよい。
- [0016] (7) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1検出層の厚みと前記第2検出層の厚みとが異なってもよい。
- [0017] (8) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1検出層の厚みと前記第2検出層の厚みとが同一でもよい。
- [0018] (9) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1検出層の厚みと前記第2検出層の厚みはいずれも、1 nm以上でもよい。
- [0019] (10) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記積層体及び前記基準積層体は、第3検出層をさらに有してもよい。また前記計測工程は、前記第1シグナルが検出されてから第3検出層に含まれる第3材料に由来する第3シグナルが検出されるまでの第2計測時間、又は、前記第2シグナルが検出されてから前記第3シグナルが検出されるまでの第3計測時

間を計測する工程をさらに有してもよい。また前記比較工程は、記基準積層体をエッチングした際に前記第1シグナルが検出されてから前記第3シグナルが検出されるまでの第2基準時間と前記第2計測時間とを比較する工程、又は、前記基準積層体をエッチングした際に前記第2シグナルが検出されてから前記第3シグナルが検出されるまでの第3基準時間と前記第3計測時間とを比較する工程をさらに有してもよい。

[0020] (11) 第2の態様にかかる磁気抵抗効果素子は、配線層と、積層体と、側壁層と、を有する。前記積層体は、前記配線層に接する。前記積層体は、第1強磁性層と、バリア層と、第2強磁性層と、非磁性層とを有する。前記側壁層は、前記積層体の側壁を覆う。前記第1強磁性層は、前記第2強磁性層より前記配線層の近くにある。前記バリア層は、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層とに挟まれる。前記第2強磁性層は、前記バリア層と前記非磁性層とに挟まれる。前記側壁層は、前記積層体の第1検出層に含まれる第1材料と、前記積層体の第2検出層に含まれる第2材料と、を含む。前記第1材料及び前記第2材料は、Ta、W、Mg、Ru、Si、Ir、Mn、Co、Fe、Ni、Al、O、Tiからなる群から選択される何れかでもよい。

[0021] (12) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記側壁層は、第1側壁層と第2側壁層とを有してもよい。前記第1側壁層は、前記第2側壁層より前記積層体の近くにある。前記第1側壁層は、酸化窒化シリコンに前記第1材料及び前記第2材料が添加されたものであり、前記第2側壁層は、窒化シリコンでもよい。

[0022] (13) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記第2検出層は、前記第1検出層より前記配線層の近くにあり、前記側壁層において、前記第2材料の濃度は、前記第1材料の濃度より濃くてもよい。

[0023] (14) 上記態様にかかる磁気抵抗効果素子において、前記配線層は、積層方向から見て、前記積層体と重なる重畳部と、前記積層体と重ならない非重畳部と、を有し、前記非重畳部における前記配線層の膜厚は、重畳部における前記配線層の膜厚の66%以上でもよい。

[0024] (15) 第3の態様にかかる磁気アレイは、複数の磁気抵抗効果素子を有する。前記複数の磁気抵抗効果素子のそれぞれは、上記態様にかかる磁気抵抗効果素子である。

発明の効果

[0025] 本開示にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法は、過剰なエッチングの進行を抑制できる。また本開示にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法で作製された磁気抵抗効果素子は、発熱しにくい。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法のフロー図である。
[図2]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法で作製される磁気抵抗効果素子の断面図の一例である。
[図3]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法で作製される磁気抵抗効果素子の平面図の一例である。
[図4]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための模式図である。
[図5]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための模式図である。
[図6]第1実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための模式図である。
[図7]第1実施形態にかかる磁気アレイの回路図である。
[図8]第1実施形態にかかる磁気アレイの磁気抵抗効果素子近傍の断面図である。

発明を実施するための形態

[0027] 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。

[0028] 「磁気抵抗効果素子の製造方法」

図1は、第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法のフロー図である。第1実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法は、例えば、準備工程S0と、計測工程S1と、比較工程S2と、決定工程S3と有する。準備工程S0は、事前に行われる別工程であり、常に行う必要はない。

[0029] まずこの製造方法で作製する磁気抵抗効果素子について説明する。図2は、第1実施形態に係る製造方法で作製される磁気抵抗効果素子100の断面図である。図3は、第1実施形態に係る製造方法で作製される磁気抵抗効果素子100の平面図である。

[0030] 以下、磁気抵抗効果素子100の各層の積層方向をz方向とし、z方向と直交する面をxy平面とする。xy平面における一方向をx方向、xy平面においてx方向と直交する方向をy方向とする。x方向は、例えば、配線層20が延びる方向と一致する。

[0031] 磁気抵抗効果素子100は、例えば、積層体10と配線層20と側壁層30と第1ビア配線40と第2ビア配線50と絶縁層60とを備える。

[0032] 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。

[0033] 磁気抵抗効果素子100は、データを記録、保存する素子である。磁気抵抗効果素子100は、積層体10のz方向の抵抗値でデータを記録する。積層体10のz方向の抵抗値は、配線層20に沿って書き込み電流を印加し、配線層20から積層体10にスピンが注入されることで変化する。配線層20に沿って書き込み電流は、第1ビア配線40と第2ビア配線50との間に電位差を印加することで流れる。積層体10のz方向の抵抗値は、積層体10のz方向に読出し電流を印加することで読み出すことができる。

[0034] 積層体10は、配線層20に接する。積層体10は、例えば、配線層20上に積層されている。

- [0035] 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 の側壁は、例えば、z 方向に対して傾斜する。
- [0036] 積層体 10 は、例えば、第 1 強磁性層 1 と第 2 強磁性層 2 とバリア層 3 と下地層 4 とキャップ層 5 と非磁性層 6 とを備える。積層体 10 は、第 1 強磁性層 1、第 2 強磁性層 2、バリア層 3、下地層 4、キャップ層 5 及び非磁性層 6 以外の層を有してもよい。積層体 10 は、バリア層 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。
- [0037] 第 1 強磁性層 1 は、例えば、第 2 強磁性層 2 より配線層 20 の近くにある。第 1 強磁性層 1 は、配線層 20 と直接接してもよいし、下地層 4 を介して間接的に接してもよい。第 1 強磁性層 1 は、例えば、配線層 20 上に積層されている。
- [0038] 第 1 強磁性層 1 には配線層 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 は磁化自由層と言われる。
- [0039] 第 1 強磁性層 1 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。
- [0040] 第 1 強磁性層 1 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_2MnSi 、 $Co_2Mn_{1-a}Fe_aAl_bSi_{1-b}$ 、 $Co_2FeGe_{1-c}Ga_c$ 等である。ホイスラー合金は高い

スピン分極率を有する。

[0041] 第2強磁性層2は、第1強磁性層1より配線層20から離れた位置にある。第2強磁性層2は、バリア層3と非磁性層6とに挟まれる。第2強磁性層2は、強磁性体を含む。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2強磁性層2は、磁化固定層、磁化参照層と言われる。図2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。本実施形態に係る磁気抵抗効果素子は、積層体10が配線層20より基板Subの近くにあり、磁化固定層が磁化自由層より基板Subの近くにあるボトムピン構造でもよい。

[0042] 第2強磁性層2を構成する材料として、第1強磁性層1を構成する材料と同様のものが用いられる。

[0043] 第2強磁性層2は、シンセティック反強磁性構造（SAF構造）でもよい。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は、二つの磁性層とこれらに挟まれるスペーサ層とを有してもよい。二つの強磁性層が反強磁性カップリングすることで、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。

[0044] バリア層3は、第1強磁性層1と第2強磁性層2とに挟まれる。バリア層3は、非磁性体を含む。バリア層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。バリア層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、バリア層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。

[0045] 下地層4は、例えば、第1強磁性層1と配線層20との間にある。下地層4は、無くてもよい。

[0046] 下地層4は、例えば、バッファ層とシード層とを含む。バッファ層は、異なる結晶間の格子不整合を緩和する層である。シード層は、シード層上に積層される層の結晶性を高める。シード層は、例えば、バッファ層上に形成される。

[0047] バッファ層は、例えば、例えば、 Ta （単体）、 TaN （窒化タンタル）、 CuN （窒化銅）、 TiN （窒化チタン）、 NiAl （ニッケルアルミニウム）である。シード層は、例えば、 Pt 、 Ru 、 Zr 、 NiCr 合金、 NiFeCr である。

[0048] キャップ層5は、第2強磁性層2上にある。キャップ層5は、例えば、第2強磁性層2の磁気異方性を強める。キャップ層5は、例えば、第2強磁性層2の垂直磁気異方性を強める。キャップ層5は、例えば酸化マグネシウム、 W 、 Ta 、 Mo 等である。キャップ層5の膜厚は、例えば、0.5 nm以上5.0 nm以下である。

[0049] 非磁性層6は、キャップ層5上にある。非磁性層6は、製造時に積層体10を加工する際に用いられるハードマスクの一部である。非磁性層6は、電極としても機能する。非磁性層6は、例えば、 Al 、 Cu 、 Ta 、 Ti 、 Zr 、 NiCr 、窒化物（例えば TiN 、 TaN 、 SiN ）、酸化物（例えば SiO_2 ）を含む。

[0050] 配線層20は、例えば、 z 方向から見て x 方向の長さが y 方向より長い。書き込み電流は、第1ビア配線40と第2ビア配線50との間を、配線層20に沿って x 方向に流れる。

[0051] 配線層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、第1強磁性層1にスピンを注入する。配線層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。

[0052] 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。

[0053] 例えば、配線層20に電流が流れると、一方向に偏極した第1スピンと、第1スピンと反対方向に偏極した第2スピントが、それぞれ電流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、 $-y$ 方向に偏極した第1スピンは、進行方向である x 方向から $+z$ 方向に曲げられ、 $+y$ 方向に偏極した第2スピンは、進行方向である x 方向から $-z$ 方向に曲げられる。

[0054] 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。

[0055] 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、配線層20から第1強磁性層1に注入される。

[0056] 配線層20は、書き込み電流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、金属磷化物、金属窒化物のいずれかを含む。配線層20は、例えば、原子番号が39以上の重金属、金属酸化物、金属窒化物、金属酸窒化物、トポロジカル絶縁体からなる群から選択される何れかを含む

。

[0057] 配線層 20 は、例えば、主成分として非磁性の重金属を含む。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。配線層 20 は、例えば、Hf、Ta、W からなる。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。スピンホール効果はスピン軌道相互作用により生じ、配線層 20 内に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。

[0058] 配線層 20 は、この他に、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。微量とは、例えば、配線層 20 を構成する元素の総モル比の 3% 以下である。スピンの磁性金属により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。

[0059] 配線層 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。

[0060] 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。

[0061] 配線層 20 は、z 方向から見て積層体 10 と重なる重畳部 21 と、z 方向から見て積層体 10 と重ならない非重畳部 22 と、を有する。非重畳部 22 における配線層 20 の膜厚 t_{22} は、例えば、重畳部 21 における配線層 20 の膜厚 t_{21} より薄い。非重畳部 22 における配線層 20 の膜厚 t_{22} は

、例えば、重畳部 21 における配線層 20 の膜厚 t_{21} の 66% 以上である。重畳部 21 の厚みは、例えば、3 nm 以上である。重畳部 21 の厚みは、例えば、20 nm 以下でもよい。重畳部 21 及び非重畳部 22 の膜厚は、 x 方向の異なる 5 点で測定した膜厚の平均値である。

[0062] 詳細は後述するが、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を用いると、非重畳部 22 の厚さ t_{22} が薄くなりすぎることを抑制できる。配線層 20 を構成する材料は、Al 等の良導体と比較して、抵抗が高い。非重畳部 22 が薄すぎると、当該部分が発熱し、配線層 20 の破断等の原因となる。

[0063] 側壁層 30 は、積層体 10 の側壁を覆う。側壁層 30 は、絶縁体である。側壁層 30 は、積層体 10 と他の構成要素との電気的な絶縁を確保する。

[0064] 側壁層 30 は、積層体 10 のうち第 1 検出層及び第 2 検出層として設定された層に含まれる材料を含む。すなわち、側壁層 30 は、第 1 検出層に含まれる第 1 材料と、第 2 検出層に含まれる第 2 材料と、を含む。第 1 検出層と第 2 検出層は、積層体 10 を構成する各層から任意に設定できる。なお、第 1 検出層は、第 2 検出層より配線層 20 から離れた位置にある層とする。

[0065] 例えば、第 1 検出層を非磁性層 6、第 2 検出層をバリア層 3 と設定する場合、側壁層 30 は、非磁性層 6 に由来する第 1 材料と、バリア層 3 に由来する第 2 材料と、を含む。例えば、非磁性層 6 が TiN で、バリア層 3 が Mg-Al-O の場合、側壁層 30 は Ti と Al とを含む。

[0066] 第 1 材料及び第 2 材料は、Ta、W、Mg、Ru、Si、Ir、Mn、Co、Fe、Ni、Al、O、Ti からなる群から選択される何れかである。第 1 材料及び第 2 材料は、例えば、Mg と Co、Ru、Mn、Ta、Ti、Ni からなる群から選択される何れかとの組み合わせ、Ni と Co、Fe、Ru からなる群から選択される何れかとの組み合わせ、Ta と Co、Fe、Ru からなる群から選択される何れかとの組み合わせ、Ti と Co、Fe、Ru からなる群から選択される何れかとの組み合わせである。第 1 材料と第 2 材料とは、同じでも異なってもよい。

- [0067] 側壁層 30 が第 1 材料及び第 2 材料を含むと、側壁層 30 の熱伝導性が向上する。磁気抵抗効果素子 100 の内部に熱がこもると、磁化の安定性の低下、素子性能の変動等の原因になる。磁気抵抗効果素子 100 内の熱が側壁層 30 を介して排熱されることで、磁気抵抗効果素子 100 の抵抗変化幅の変動等を抑制できる。
- [0068] 第 1 材料と第 2 材料とが異なる場合、側壁層 30 における第 2 材料の濃度は、第 1 材料の濃度より濃いことが好ましい。例えば、第 1 材料が Ta、Ru 等の重元素の場合、第 2 材料の濃度が高いと、側壁層の酸化が進みやすく、リデポジッションによるショートが起こりにくくなる。
- [0069] また側壁層 30 における第 1 材料及び第 2 材料の濃度は、z 方向において、配線層 20 に近い位置の方が、配線層 20 から離れた位置より濃くてもよい。当該構成を満たすと、磁気抵抗効果素子 100 内で生じた熱を、側壁層 30 を介して、熱伝導性の高い第 1 ビア配線 40 及び第 2 ビア配線 50 に向かって逃がすことができる。磁化を有する第 1 強磁性層 1 及び第 2 強磁性層 2 から離れる方向に熱を逃がすことで、磁気抵抗効果素子 100 の磁化安定性を高めることができる。
- [0070] 側壁層 30 は、例えば、第 1 側壁層 31 と第 2 側壁層 32 とを有してもよい。第 1 側壁層 31 は、第 2 側壁層 32 より積層体 10 の近くにある。第 1 側壁層 31 は、積層体 10 を覆い、第 2 側壁層 32 は第 1 側壁層 31 を覆う。
- [0071] この場合、第 1 側壁層 31 が第 1 材料及び第 2 材料を含む。第 1 側壁層 31 は、例えば、酸化窒化シリコンに第 1 材料及び第 2 材料が添加されたものであり、第 2 側壁層は、窒化シリコンである。
- [0072] 第 1 ビア配線 40 は、配線層 20 の第 1 端に接続されている。第 1 ビア配線 40 は、柱状体である。第 1 ビア配線 40 は、複数の柱状体が積層されたものでもよい。柱状体は、例えば、円柱、楕円柱、角柱である。第 1 ビア配線 40 は、導電性を有する材料を含む。
- [0073] 第 2 ビア配線 50 は、z 方向から見て、第 1 ビア配線 40 と共に第 1 強磁

性層 1 を挟む位置で、配線層 2 0 と接する。第 2 ビア配線 5 0 は、配線層 2 0 の第 1 ビア配線 4 0 が接続されている面と同じ面に接続されていてもよいし、異なる面に接続されていてもよい。第 2 ビア配線 5 0 は、第 1 ビア配線 4 0 と同様の材料からなる。

[0074] 絶縁層 6 0 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 6 0 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。

[0075] 次いで、図 1 のフロー図に基づいて、上述の磁気抵抗効果素子 1 0 0 の製造方法について説明する。

[0076] まず磁気抵抗効果素子 1 0 0 を実際に作製する前に、基準となる磁気抵抗効果素子を作成し、基準となる処理時間を決定するために、準備工程 S 0 を行う。準備工程 S 0 は、磁気抵抗効果素子 1 0 0 を製造するたびに行う必要はなく、条件出しとして最初に行えばよい。

[0077] 準備工程 S 0 は、成膜工程 S 0 1 とエッチング工程 S 0 2 と第 1 シグナル検出工程 S 0 3 と第 2 シグナル検出工程 S 0 4 と第 1 基準時間算出工程 S 0 5 と基準処理時間決定工程 S 0 6 とを有する。

[0078] 図 4 ～図 6 は、第 1 実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための模式図である。

[0079] 成膜工程 S 0 1 では、基準積層体 8 0 を作製する。基準積層体 8 0 は、例えば、第 1 ビア配線 4 0、第 2 ビア配線 5 0 及び絶縁層 6 0 上に作製する。第 1 ビア配線 4 0 及び第 2 ビア配線 5 0 は、絶縁層 6 0 に開口を形成し、開口内を導電体で充填することで作製される。

[0080] まず配線層 8 1、下地層 8 2、第 1 強磁性層 8 3、バリア層 8 4、第 2 強磁性層 8 5、キャップ層 8 6 を順に成膜する。各層の成膜は、例えば、スパッタリング法で行う。配線層 8 1、下地層 8 2、第 1 強磁性層 8 3、バリア

層 8 4、第 2 強磁性層 8 5、キャップ層 8 6 のそれぞれは、配線層 2 0、下地層 4、第 1 強磁性層 1、バリア層 3、第 2 強磁性層 2、キャップ層 5 のそれぞれに対応し、同様の材料からなる。

[0081] 次いで、キャップ層 8 6 の一部に非磁性層 8 7 を形成する。非磁性層 8 7 は、積層体 1 0 を作製する予定の位置に形成する。非磁性層 8 7 は、第 1 層 8 7 A、第 2 層 8 7 B、第 3 層 8 7 C の 3 層構造としてもよい。第 1 層 8 7 A は、第 3 層 8 7 C より第 2 強磁性層 8 5 の近くにある。第 2 層 8 7 B は、第 1 層 8 7 A と第 3 層 8 7 C とに挟まれる。非磁性層 8 7 は、第 2 強磁性層 8 5 側から順に、第 1 層 8 7 A、第 2 層 8 7 B、第 3 層 8 7 C が順に積層されている。

[0082] 非磁性層 8 7 は、非磁性層 6 と対応し、同様の材料からなる。非磁性層 8 7 が 3 層構造の場合、例えば、第 1 層 8 7 A を T a、第 2 層 8 7 B を R u、第 3 層 8 7 C を T i N とする。

[0083] 次いで、エッチング工程 S 0 2 を行う。エッチングは、例えば、イオンビームミリング (I B E)、反応性イオンエッチング (R I E) 法で行う。

[0084] エッチング工程 S 0 2 を行う際に、基準積層体 8 0 のうちのいずれの層を第 1 検出層、第 2 検出層とするかを定める。例えば、非磁性層 8 7 を第 1 検出層として、バリア層 8 4 を第 2 検出層としてもよい。例えば、図 4 に示すように、非磁性層 8 7 が 3 層構造の場合、非磁性層 8 7 のうちの何れかの層を第 1 検出層としてもよい。例えば、第 3 層 8 7 C を第 1 検出層として、第 1 層 8 7 A を第 2 検出層としてもよい。また第 3 検出層として、基準積層体 8 0 のうちのいずれの層をさらに設定してもよい。

[0085] 第 1 検出層と第 2 検出層とは、第 1 検出層と第 2 検出層との間の距離が 4 n m 以上となるように、基準積層体 8 0 から選定してもよい。また第 3 検出層を選定する場合も、第 1 検出層と第 3 検出層との間、及び、第 2 検出層と第 3 検出層との間の距離が 4 n m 以下となるように、基準積層体 8 0 から第 3 検出層を選定してもよい。検出層間の距離が離れていると、検出時のシグナルが混在しにくくなる。検出層をこのように選定すると、検出装置の検出

精度が高まる。

- [0086] また厚みが1 nm以上の層を第1検出層及び第2検出層として選定してもよい。また第3検出層を選定する場合も、厚みが1 nm以上の層を第3検出層として選定してもよい。検出層の厚みが十分厚いと、シグナルが検出される時間が長くなる。検出層をこのように選定すると、検出装置の検出漏れを避けることができる。
- [0087] また第1検出層と第2検出層とが同じ材料を含む層となるように、基準積層体80から第1検出層と第2検出層とを選定してもよい。この場合、第1検出層に由来する第1材料と第2検出層に由来する第2材料とが同じになる。検出装置の検出感度は、材料毎に異なるため、第1材料と第2材料とが同じ材料の場合、感度調整をしなくても、良好にシグナルを検出できる。また第3検出層を選定する場合、第3検出層として、第1検出層及び第2検出層とが同じ材料を含む層を選定してもよい。
- [0088] また第1検出層と第2検出層とが異なる材料を含む層となるように、基準積層体80から第1検出層と第2検出層とを選定してもよい。この場合、第1検出層に由来する第1材料と第2検出層に由来する第2材料とが異なる。検出する材料が異なることで、シグナルから何れの層を加工しているかという判断がしやすくなる。また第3検出層を選定する場合、第3検出層として、第1検出層及び第2検出層と異なる材料を含む層を選定してもよい。
- [0089] また厚みが同一の層を第1検出層と第2検出層とを選定してもよい。例えば、第1材料と第2材料とが同じ材料の場合、第1検出層と第2検出層の厚みが同一であると、第1検出層を加工時に検出される第1シグナルと、第2検出層を加工時に検出される第2シグナルとの強度が略一致する。検出するシグナル強度が略一致すると、シグナルの見落としをしにくい。また第3検出層を選定する場合、第3検出層として、第1検出層及び第2検出層と同じ厚みの層を選定してもよい。
- [0090] また厚みが異なる層を第1検出層と第2検出層とを選定してもよい。例えば、第1材料と第2材料とが異なる材料の場合、検出装置の検出感度がそれ

ぞれ異なる場合がある。検出感度が低い材料を含む層の厚みが厚く、検出感度が高い材料を含む層の厚みが薄くなるように、第1検出層及び第2検出層を選定すると、それぞれの層を加工する際に生じるシグナル強度が近くなる。また第3検出層を選定する場合、第3検出層として、第1検出層及び第2検出層と異なる厚みの層を選定してもよい。

[0091] 以下、第1検出層を非磁性層87の第3層87C、第2検出層をバリア層84とした例を基に説明する。

[0092] 次いで、第1シグナル検出工程S03では、第1検出層に含まれる第1材料に由来する第1シグナルを検出する。第1シグナルは、エッチングを行いながら、二次イオン質量分析（SIMS）又は固体発光分光分析（OES）を行うことで、検出できる。例えば、基準積層体80のエッチングを行うと、まず第3層87C及びキャップ層86の一部がエッチングされる。この際に、第3層87Cを構成する原子は飛散し、検出装置で検出される。検出装置は、例えば、第3層87Cに含まれる第1材料に由来する第1シグナルを検出する。

[0093] 次いで、第2シグナル検出工程S04では、第2検出層に含まれる第2材料に由来する第2シグナルを検出する。第2シグナルは、エッチングを行いながら、二次イオン質量分析（SIMS）又は固体発光分光分析（OES）を行うことで、検出できる。例えば、図5に示すように、エッチングがバリア層84まで至ると、バリア層84を構成する原子が飛散し、検出装置で検出される。検出装置は、例えば、バリア層84に含まれる第2材料に由来する第2シグナルを検出する。

[0094] 第1シグナルが検出されてから第2シグナルが検出されるまでの間にはタイムラグがある。第1基準時間算出工程S05では、このタイムラグを算出する。第1シグナルが検出される時刻は、第1シグナルが所定の強度以上になった時刻を開始時刻とする。同様に、第2シグナルが検出される時刻は、第2シグナルが所定の強度以上になった時刻を開始時刻とする。第1シグナルの検出開始時刻と第2シグナルの検出開始時刻との時間差を求めることで

、タイムラグが算出される。このタイムラグを第1基準時間とする。

[0095] また第3検出層を設定する場合は、第1シグナルが検出されてから第3シグナルが検出されるまでの第2基準時間、及び、第2シグナルが検出されてから第3シグナルが検出されるまでの第3基準時間を求めてもよい。

[0096] 次いで、基準処理時間決定工程S06を行う。基準処理時間は、第2シグナルの検出開始時刻からエッチングの終了までの時間である。例えば、第2シグナルの検出開始時刻からエッチングの終了までの時間を変えた実験を行い、非重畳部22の膜厚 t_{22} が重畳部21の膜厚 t_{21} の66%以上となる条件を求める。当該条件を満たす時間を基準処理時間とする。基準処理時間は、絶対値として所定の時間を設定してもよいし、第1基準時間に対して所定の割合となる時間を設定してもよい。

[0097] 次いで、計測工程S1を行う。計測工程S1は、成膜工程S11とエッチング工程S12と第1シグナル検出工程S13と第2シグナル検出工程S14と第1計測時間算出工程S15とを有する。

[0098] 成膜工程S11では、成膜工程S01で作製した基準積層体80と同条件、同膜構成で、積層体を作製する。

[0099] 次いで、エッチング工程S12を行う。エッチング工程S12のエッチング条件もエッチング工程S02と同条件とする。また準備工程S0で選定した層と同じ層を、第1検出層、第2検出層とする。また必要に応じて、準備工程S0で選定した層と同じ層を、第3検出層とする。

[0100] 次いで、第1シグナル検出工程S13では、第1検出層に含まれる第1材料に由来する第1シグナルを検出する。例えば、積層体のエッチングを行うと、まず第3層及びキャップ層の一部がエッチングされる。この際に、第3層を構成する原子は飛散し、検出装置で検出される。検出装置は、例えば、第3層に含まれる第1材料に由来する第1シグナルを検出する。

[0101] 次いで、第2シグナル検出工程S14では、第2検出層に含まれる第2材料に由来する第2シグナルを検出する。例えば、エッチングがバリア層まで至ると、バリア層を構成する原子が飛散し、検出装置で検出される。検出装

置は、例えば、バリア層に含まれる第2材料に由来する第2シグナルを検出する。

[0102] 第1シグナルが検出されてから第2シグナルが検出されるまでの間にはタイムラグがある。第1計測時間算出工程S15では、第1基準時間算出工程S05と同様に、このタイムラグを算出する。このタイムラグを、第1計測時間という。

[0103] また第3検出層を設定する場合は、第1シグナルが検出されてから第3シグナルが検出されるまでの第2計測時間、及び、第2シグナルが検出されてから第3シグナルが検出されるまでの第3計測時間を計測工程S1で求めてもよい。

[0104] 次に、比較工程S2を行う。第1基準時間と第1計測時間とを比較する第1工程S21と、第1基準時間と第1計測時間とのずれを求める第2工程S22とを有する。

[0105] 第1工程S21では、第1基準時間と第1計測時間とを比較し、一致するか否かを判定する。基準積層体80と同条件で成膜された積層体を同条件でエッチングするため、第1基準時間と第1計測時間とが一致することはある。一方で、基準積層体80と同条件で成膜された積層体を同条件でエッチングしても、第1計測時間と第1基準時間とが一致しない場合もある。これは、エッチングの時間は、様々な要因でばらつく場合があるためである。

[0106] 第1工程S21において、第1基準時間と第1計測時間とが一致する場合は、第1基準時間と第1計測時間のずれはない。つまり、基準積層体80におけるエッチングの進行速度と、積層体におけるエッチングの進行速度とが、略同一であると言える。

[0107] 第1工程S21では、第1基準時間と第1計測時間とが一致しない場合は、ずれを求める第2工程S22を行う。第1基準時間と第1計測時間とのずれは、第1基準時間と第1計測時間との差分を求めることで得られる。

[0108] また第3検出層を用いる場合は、第2基準時間と第2計測時間とを比較してもよいし、第3基準時間と第3計測時間とを比較してもよい。すなわち、

第2基準時間と第2計測時間とのずれ、又は、第3基準時間と第3計測時間とのずれを求めてもよい。

[0109] 次いで、決定工程S3を行う。第1基準時間と第1計測時間とが一致しない場合は、決定工程S3の第1決定工程S31を行う。第1基準時間と第1計測時間とが一致する場合は、決定工程S3の第2決定工程S32を行う。

[0110] 第1決定工程S31では、第1基準時間と第1計測時間とのずれから第2シグナルが検出されてからエッチングを終了するまでの実処理の条件を決定する。例えば、第1計測時間が第1基準時間より短い場合は、実処理条件を基準処理時間より短くする。例えば、第1計測時間が第1基準時間より長い場合は、実処理条件を基準処理時間より長くする。例えば、 $(\text{第1基準時間}) + \{ \text{「(第1基準時間) - (第1計測時間)」} / (\text{第1基準時間}) \times (\text{基準処理時間}) \}$ を実処理時間としてもよい。

[0111] 第2決定工程S32では、第2シグナルが検出されてからエッチングを終了するまでの実処理の時間を基準処理時間とする。

[0112] また第3検出層を用いる場合は、決定工程S3における実処理時間の決定に、第2基準時間と第2計測時間とのずれ、又は、第3基準時間と第3計測時間とのずれを考慮してもよい。第1基準時間と第1計測時間とのずれの情報に、これらのずれの情報を加えて、実処理時間を決定することでより実処理時間が適切な値となる。

[0113] 上述のように、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造方法によれば、エッチング条件のばらつきに伴う配線層20の過剰なエッチングを抑制できる。配線層20は、抵抗が高く発熱しやすいため、配線層20が薄くなりすぎることを防止することで、磁気抵抗効果素子100の発熱を抑制できる。

[0114] 「磁気アレイ、磁気抵抗効果素子」

図7は、本実施形態に係る磁気アレイの回路図である。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

子Sw3と、を備える。磁気アレイ200は、例えば、磁気抵抗効果素子100が行列状に配列されている。磁気抵抗効果素子100のそれぞれは、図3及び図4で示す上述の磁気低抵抗効果素子である。

[0115] それぞれの書き込み配線WLは、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。それぞれの共通配線CLは、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。それぞれの共通配線CLは、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。それぞれの読出し配線RLは、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。

[0116] それぞれの磁気抵抗効果素子100は、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のそれぞれと電氣的に接続されている。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。

[0117] 所定の第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。所定の第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。

[0118] 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

ッティング素子 $S w 3$ 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（ $O T S : 0 v o n i c \text{ Threshold Switch}$ ）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。

[0119] 図7に示す磁気アレイ200は、同じ読出し配線RL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に設けられていてもよい。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。

[0120] 図8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8は、磁気抵抗効果素子100を後述する配線層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。

[0121] 図8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Trである。第3スイッチング素子 $S w 3$ は、読出し配線RLと電氣的に接続され、例えば、図8のy方向の異なる位置にある。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G1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。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Subは、例えば、半導体基板である。

[0122] トランジスタTrと磁気抵抗効果素子100とは、第1ビア配線40及び第2ビア配線50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とはそれぞれ、ビア配線W1で接続されている。第1ビア配線40、第2ビア配線50及びビア配線W1はそれ

ぞれ、例えば、 z 方向に延びる。第1ビア配線40、第2ビア配線50及びビア配線W1はそれぞれ、複数の柱状体が積層されたものでもよい。

[0123] 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90で覆われている。上述の絶縁層60は、絶縁層90の一部である。絶縁層90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90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。

[0124] 磁気アレイ200に属するそれぞれの磁気抵抗効果素子100は、配線層20の非重畳部22の膜厚 t_{22} が、重畳部21の膜厚 t_{21} の66%以上である。

[0125] 本実施形態に係る磁気抵抗効果素子100の製造方法を用いると、磁気アレイ200に属する磁気抵抗効果素子100のそれぞれを作製する毎に、エッチング条件を調整できる。そのため、複数の磁気抵抗効果素子100が集積された場合でも、何れの磁気抵抗効果素子100においても、配線層20の非重畳部22の膜厚 t_{22} が極端に薄くなることを避けることができる。

[0126] ここまで、第1実施形態を例示して、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

[0127] 1, 83…第1強磁性層、2, 85…第2強磁性層、3, 84…バリア層、4, 82…下地層、5, 86…キャップ層、6, 87…非磁性層、10…積層体、20, 81…配線層、21…重畳部、22…非重畳部、30…側壁層、31…第1側壁層、32…第2側壁層、40…第1ビア配線、50…第2ビア配線、60, 90…絶縁層、80…基準積層体、87A…第1層、87B…第2層、87C…第3層、100…磁気抵抗効果素子、200…磁気アレイ

イ、S 0…準備工程、S 0 1, S 1 1…成膜工程、S 0 2, S 1 2…エッチング工程、S 0 3, S 1 3…第1シグナル検出工程、S 0 4, S 1 4…第2シグナル検出工程、S 0 5…第1基準時間算出工程、S 1 5…第1計測時間算出工程、S 0 6…基準処理時間決定工程、S 1…計測工程、S 2…比較工程、S 2 1…第1工程、S 2 2…第2工程、S 3…決定工程、S 3 1…第1決定工程、S 3 2…第2決定工程

請求の範囲

- [請求項1] 第1検出層と第2検出層とを備える積層体をエッチングして、第1検出層に含まれる第1材料に由来する第1シグナルが検出されてから第2検出層に含まれる第2材料に由来する第2シグナルが検出されるまでの第1計測時間を計測する計測工程と、
- 前記積層体と同じ膜構成の基準積層体をエッチングした際に前記第1シグナルが検出されてから前記第2シグナルが検出されるまでの第1基準時間と、前記第1計測時間とを比較し、前記第1基準時間と前記第1計測時間とのずれを求める比較工程と、
- 前記ずれを用いて前記第2シグナルが検出されてから前記エッチングを終了するまでの条件を決定する決定工程と、を有する、磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項2] 前記第1材料と前記第2材料とが異なる、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項3] 前記第1材料と前記第2材料とが同じである、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項4] 前記積層体は、積層方向に、配線層、第1強磁性層、バリア層、第2強磁性層、非磁性層を順に有し、
- 前記非磁性層が前記第1検出層であり、
- 前記バリア層が前記第2検出層である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項5] 前記積層体は、積層方向に、配線層、第1強磁性層、バリア層、第2強磁性層、非磁性層を順に有し、
- 前記非磁性層は、第1層、第2層、第3層を前記第2強磁性層側から順に有し、
- 前記非磁性層の前記第3層が前記第1検出層であり、
- 前記非磁性層の前記第1層が前記第2検出層である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

- [請求項6] 第1検出層と前記第2検出層との間の距離が4 nm以上である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項7] 前記第1検出層の厚みと前記第2検出層の厚みとが異なる、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項8] 前記第1検出層の厚みと前記第2検出層の厚みとが同一である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項9] 前記第1検出層の厚みと前記第2検出層の厚みはいずれも、1 nm以上である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項10] 前記積層体及び前記基準積層体は、第3検出層をさらに有し、
前記計測工程は、
前記第1シグナルが検出されてから第3検出層に含まれる第3材料に由来する第3シグナルが検出されるまでの第2計測時間、
又は、
前記第2シグナルが検出されてから前記第3シグナルが検出されるまでの第3計測時間を計測する工程をさらに有し、
前記比較工程は、
前記基準積層体をエッチングした際に前記第1シグナルが検出されてから前記第3シグナルが検出されるまでの第2基準時間と前記第2計測時間とを比較する工程、
又は、
前記基準積層体をエッチングした際に前記第2シグナルが検出されてから前記第3シグナルが検出されるまでの第3基準時間と前記第3計測時間とを比較する工程をさらに有する、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。
- [請求項11] 配線層と、積層体と、側壁層と、を有し、
前記積層体は、前記配線層に接し、
前記積層体は、第1強磁性層と、バリア層と、第2強磁性層と、非磁性層とを有し、

前記側壁層は、前記積層体の側壁を覆い、
前記第 1 強磁性層は、前記第 2 強磁性層より前記配線層の近くにあり、
前記バリア層は、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層とに挟まれ、
前記第 2 強磁性層は、前記バリア層と前記非磁性層とに挟まれ、
前記側壁層は、前記積層体の第 1 検出層に含まれる第 1 材料と、前記積層体の第 2 検出層に含まれる第 2 材料と、を含み、
前記第 1 材料及び前記第 2 材料は、Ta、W、Mg、Ru、Si、Ir、Mn、Co、Fe、Ni、Al、O、Ti からなる群から選択される何れかである、磁気抵抗効果素子。

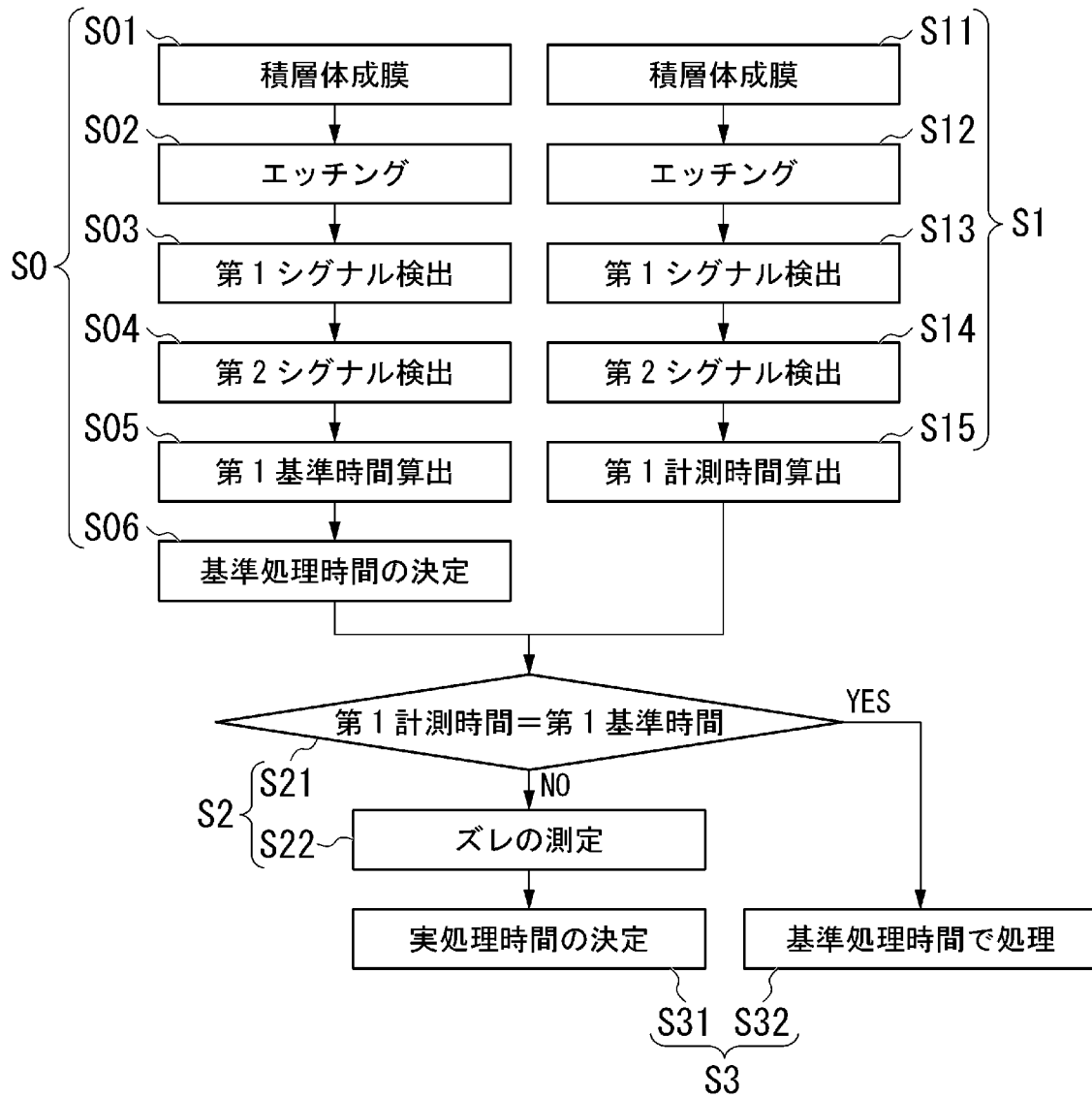
[請求項12] 前記側壁層は、第 1 側壁層と第 2 側壁層とを有し、
前記第 1 側壁層は、前記第 2 側壁層より前記積層体の近くにあり、
前記第 1 側壁層は、酸化窒化シリコンに前記第 1 材料及び前記第 2 材料が添加されたものであり、
前記第 2 側壁層は、窒化シリコンである、請求項 11 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項13] 前記第 2 検出層は、前記第 1 検出層より前記配線層の近くにあり、
前記側壁層において、前記第 2 材料の濃度は、前記第 1 材料の濃度より濃い、請求項 11 に記載の磁気抵抗効果素子。

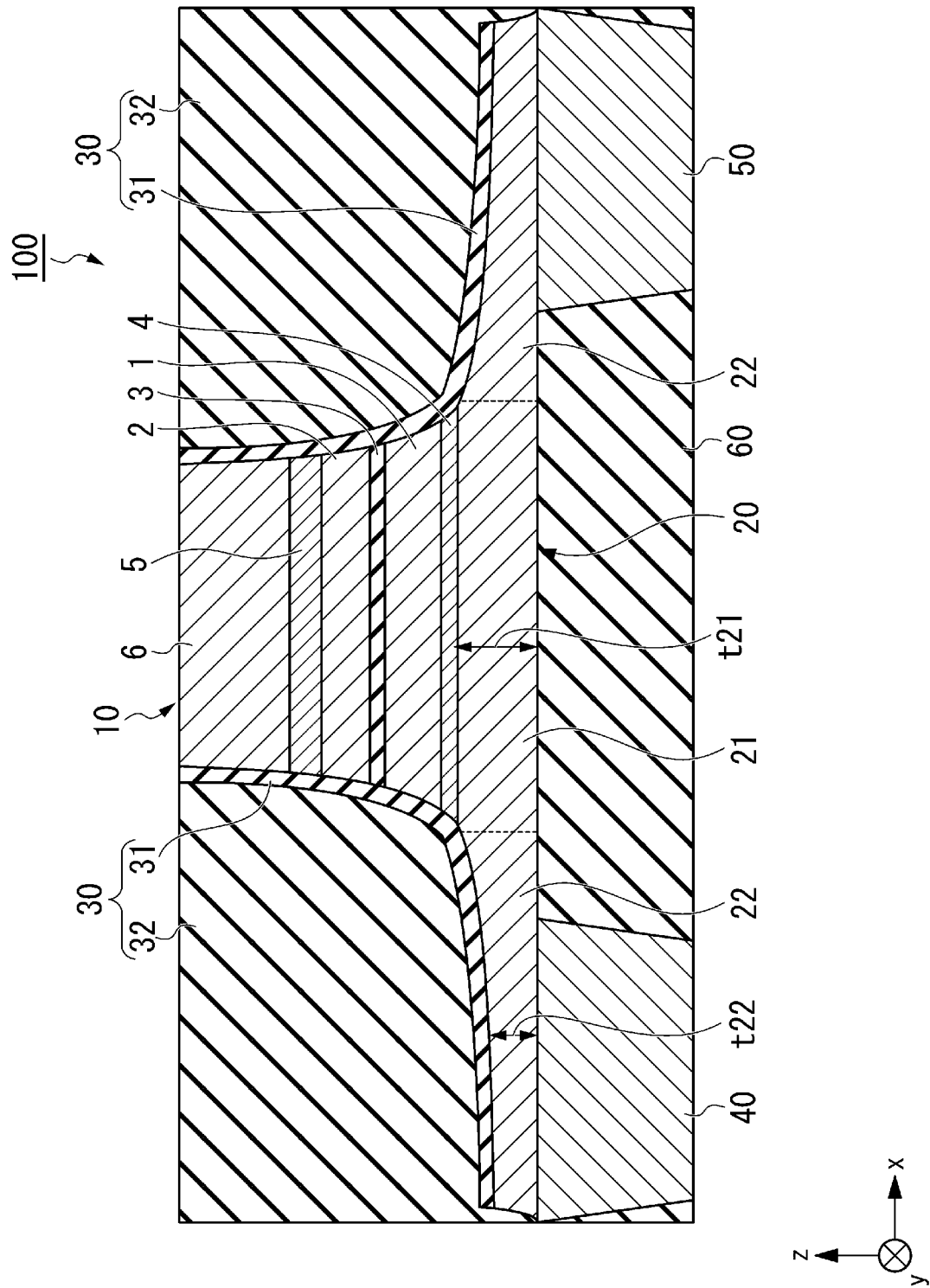
[請求項14] 前記配線層は、積層方向から見て、前記積層体と重なる重畳部と、前記積層体と重ならない非重畳部と、を有し、
前記非重畳部における前記配線層の膜厚は、重畳部における前記配線層の膜厚の 66% 以上である、請求項 11 に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項15] 複数の磁気抵抗効果素子を有し、
前記複数の磁気抵抗効果素子のそれぞれは、請求項 11 に係る磁気抵抗効果素子である、磁気アレイ。

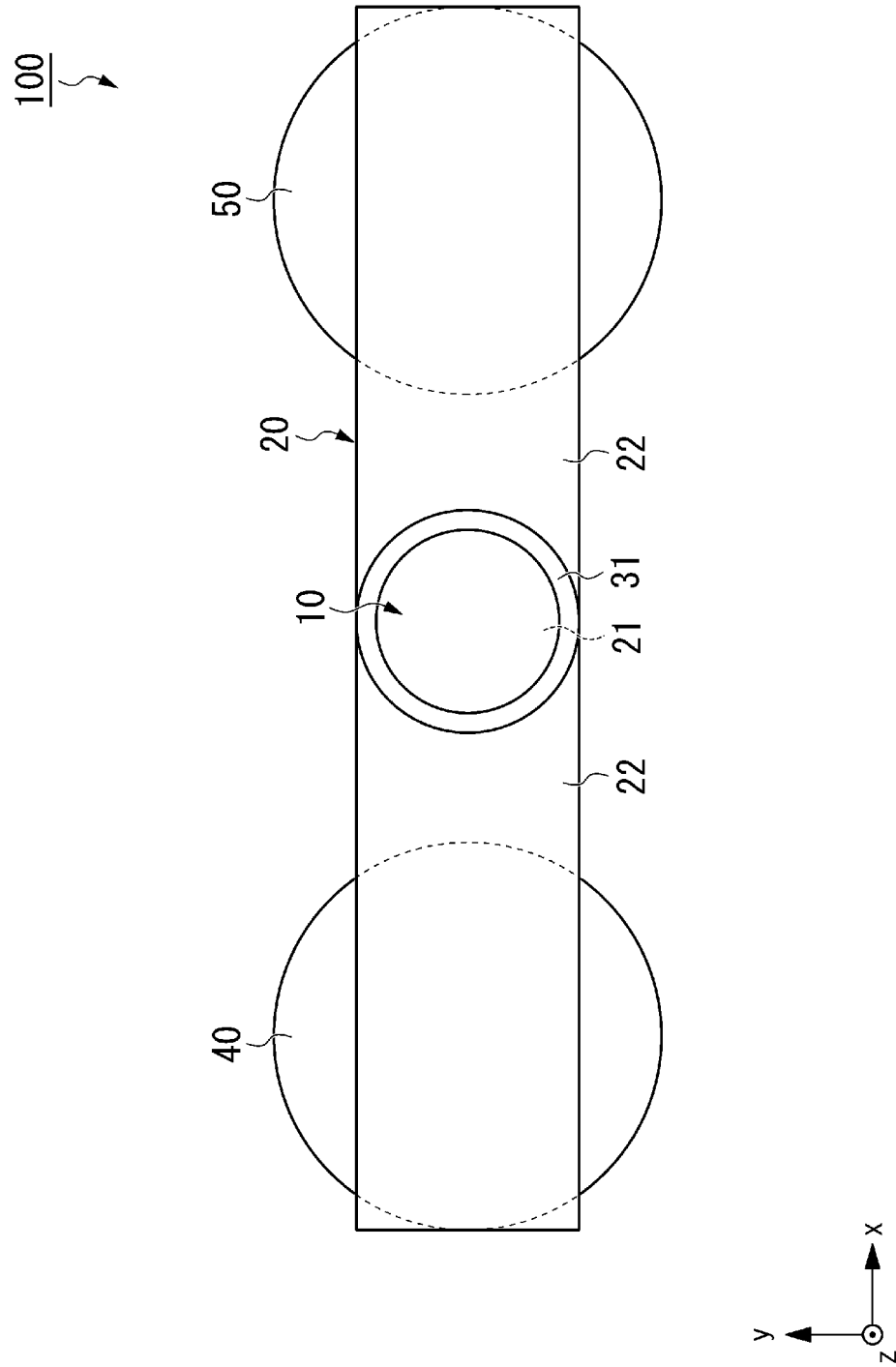
[図1]



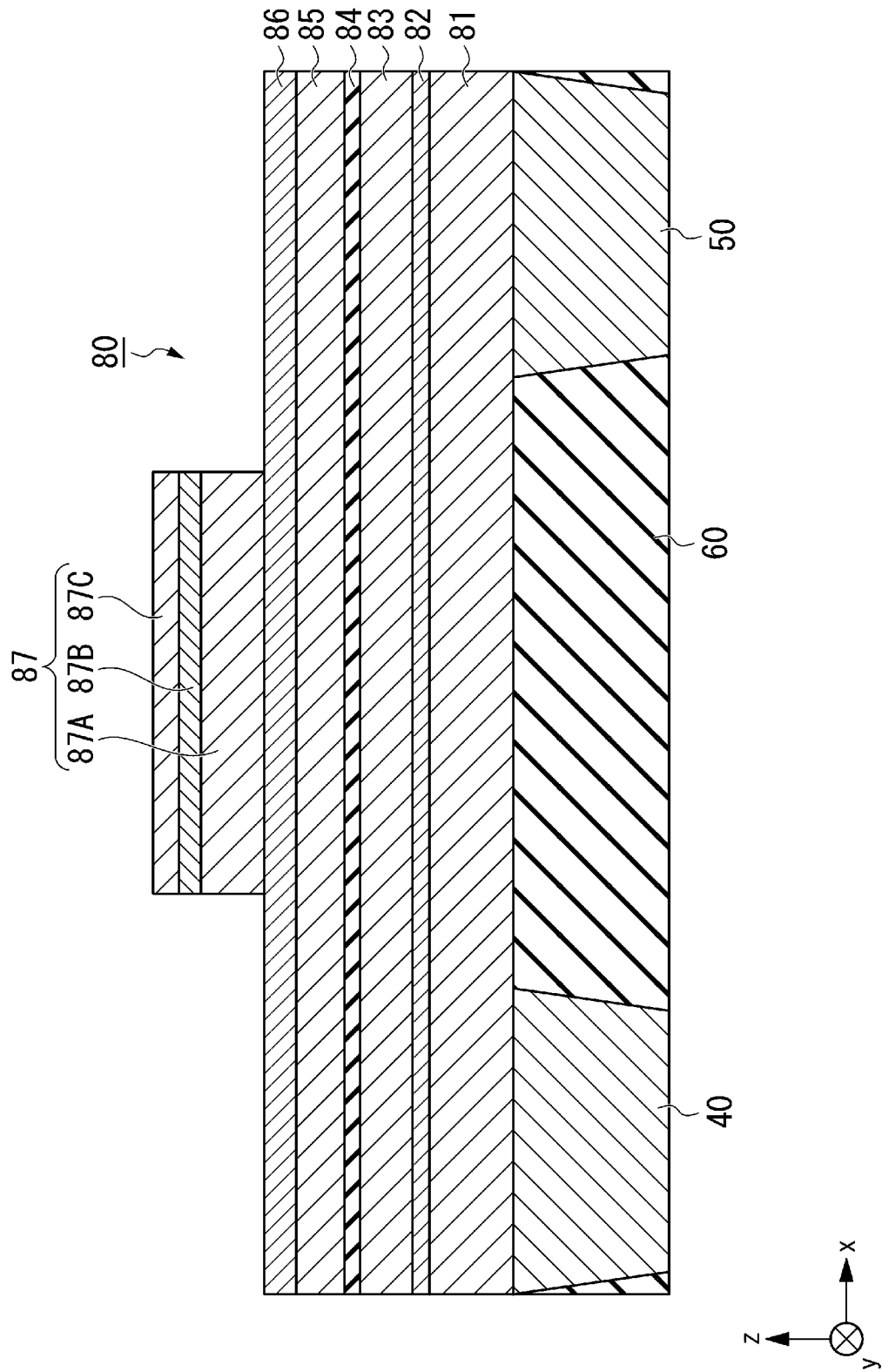
[図2]



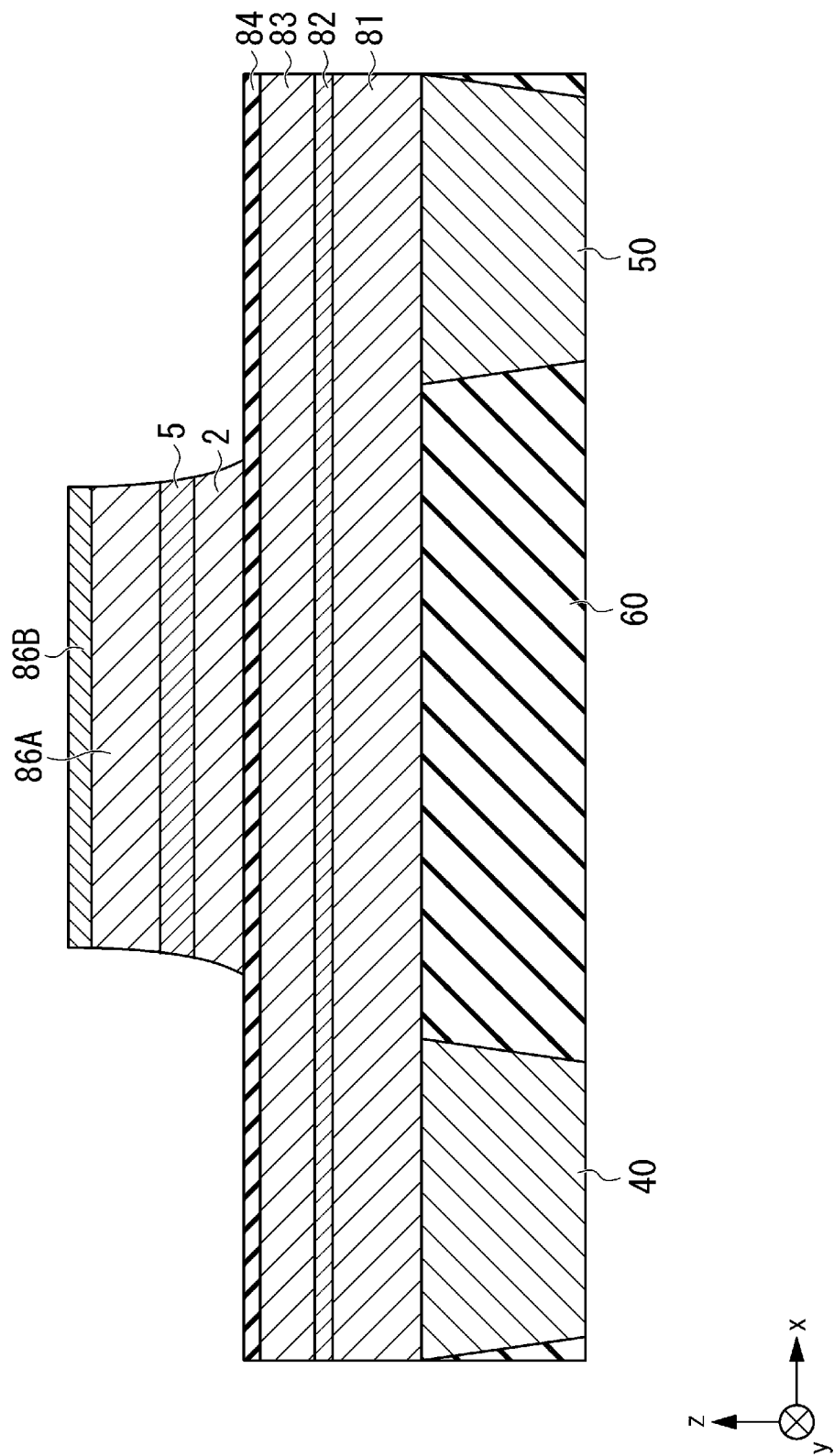
[図3]



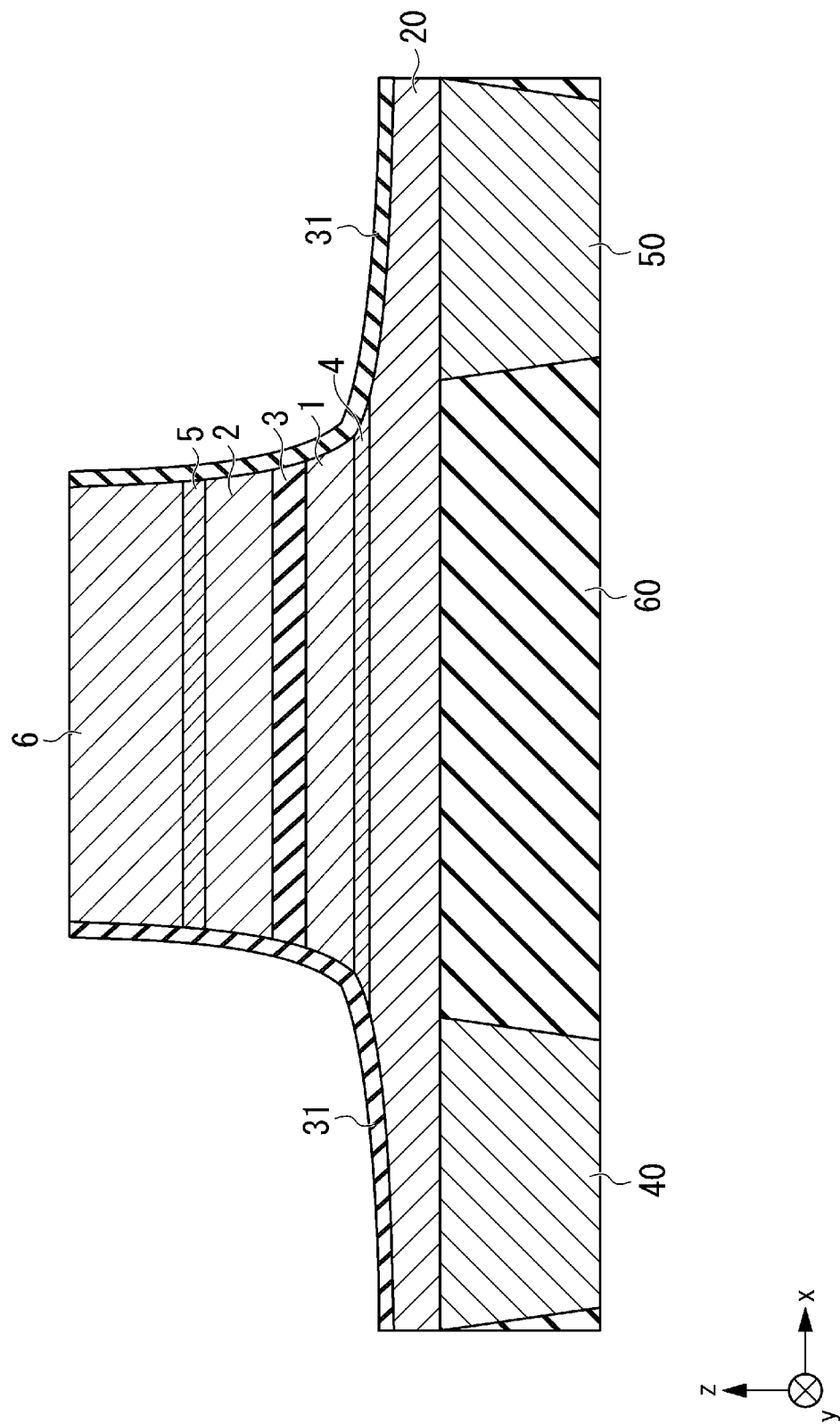
[図4]



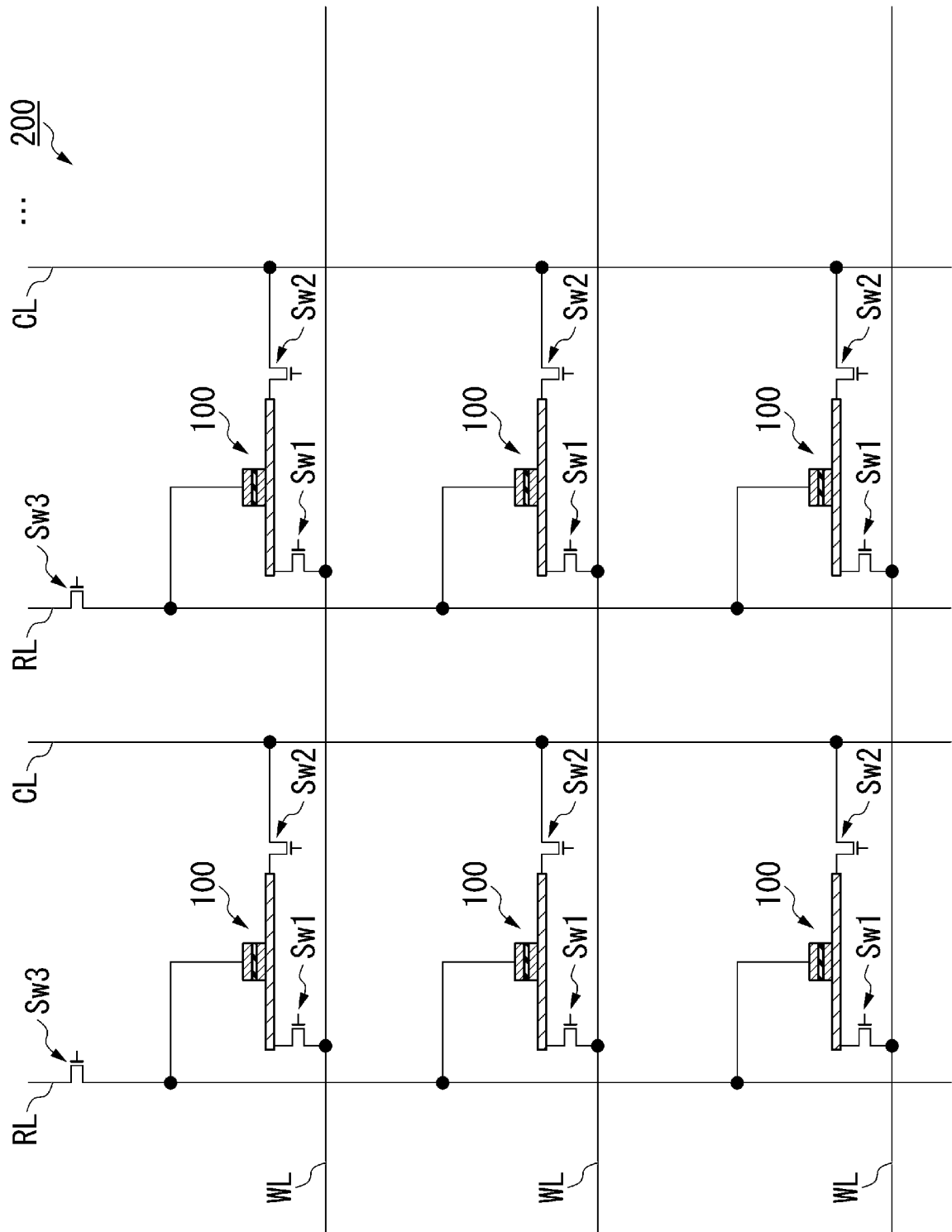
[図5]



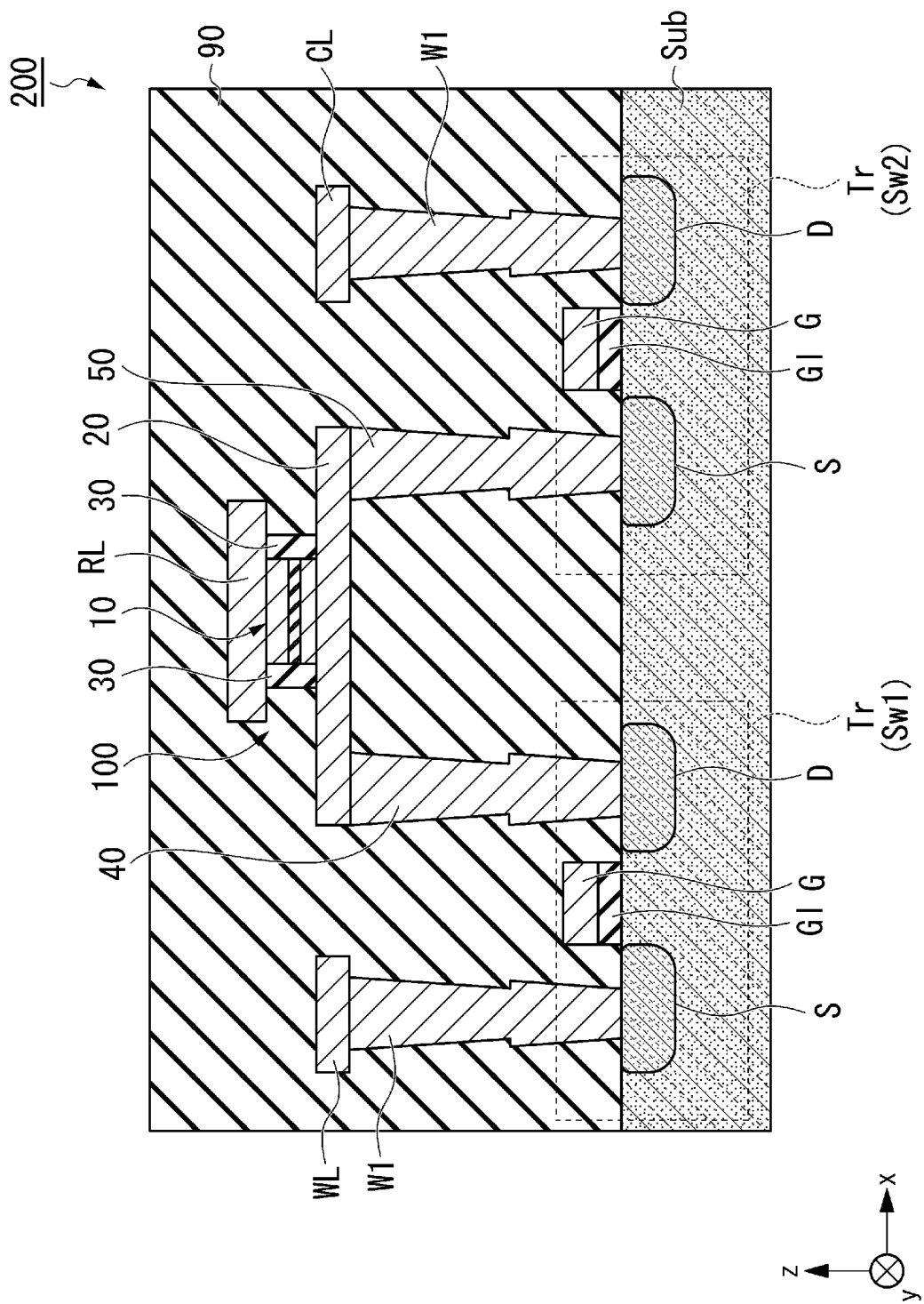
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/035871

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 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
X	US 2021/0143323 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 13 May 2021 (2021-05-13) paragraphs [0064], [0067], [0068], [0070], [0081], [0088], fig. 1-7	11-15
A		1-10
X	JP 2019-47118 A (TDK CORP) 22 March 2019 (2019-03-22) paragraphs [0049], [0059], [0070], [0071], [0075], fig. 1-6	11, 13-15
A		1-10, 12
A	WO 2021/181651 A1 (TDK CORP) 16 September 2021 (2021-09-16) paragraphs [0035]-[0086], fig. 1-14	1-15
A	JP 2017-520909 A (VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC) 27 July 2017 (2017-07-27) paragraphs [0010]-[0077], fig. 1-12	1-15
A	WO 2018/139276 A1 (UNIV TOHOKU) 02 August 2018 (2018-08-02) paragraphs [0014]-[0037], fig. 1-11	1-15



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

12 December 2022

Date of mailing of the international search report

20 December 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/JP2022/035871

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2021/0143323	A1	13 May 2021	WO 2021/096657 A1 paragraphs [0064], [0067], [0068], [0070], [0081], [0088], fig. 1-7	
JP	2019-47118	A	22 March 2019	US 2019/0074043 A1 paragraphs [0057], [0067], [0079], [0080], [0085], fig. 1-6	
WO	2021/181651	A1	16 September 2021	(Family: none)	
JP	2017-520909	A	27 July 2017	US 2015/0325410 A1 paragraphs [0026]-[0093], fig. 1-12	
				WO 2015/172130 A1	
WO	2018/139276	A1	02 August 2018	US 2019/0393411 A1 paragraphs [0050]-[0116], fig. 1-11	

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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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
X	US 2021/0143323 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 13.05.2021 (2021 - 05 - 13) 段落0064, 0067, 0068, 0070, 0081, 0088, 図1-7	11-15
A		1-10
X	JP 2019-47118 A (TDK株式会社) 22.03.2019 (2019 - 03 - 22) 段落0049, 0059, 0070, 0071, 0075, 図1-6	11, 13-15
A		1-10, 12
A	WO 2021/181651 A1 (TDK株式会社) 16.09.2021 (2021 - 09 - 16) 段落0035-0086, 図1-14	1-15
A	JP 2017-520909 A (ヴァリアン セミコンダクター イクイップメント アソシエ ツ インコーポレイテッド) 27.07.2017 (2017 - 07 - 27) 段落0010-0077, 図1-12	1-15
A	WO 2018/139276 A1 (国立大学法人東北大学) 02.08.2018 (2018 - 08 - 02) 段落0014-0037, 図1-11	1-15
☐ 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、一般的な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 12.12.2022		国際調査報告の発送日 20.12.2022
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） 小山 満 5F 9458 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/JP2022/035871

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
US	2021/0143323	A1	13.05.2021	WO 2021/096657 A1 段落 0064, 0067, 0068, 0070, 0081, 0088, 図1-7	
JP	2019-47118	A	22.03.2019	US 2019/0074043 A1 段落 0057, 0067, 0079, 0080, 0085, 図1-6	
WO	2021/181651	A1	16.09.2021	(ファミリーなし)	
JP	2017-520909	A	27.07.2017	US 2015/0325410 A1 段落0026-0093, 図1-12 WO 2015/172130 A1	
WO	2018/139276	A1	02.08.2018	US 2019/0393411 A1 段落0050-0116, 図1-11	