(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
2025年6月26日(26.06.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/134192 A1

(51) 国際特許分類:
H10B 61/00 (2023.01) *H10N 50/20* (2023.01)
H01L 29/82 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/045294

(22) 国際出願日： 2023年12月18日(18.12.2023)

(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：ＴＤＫ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 (JP).

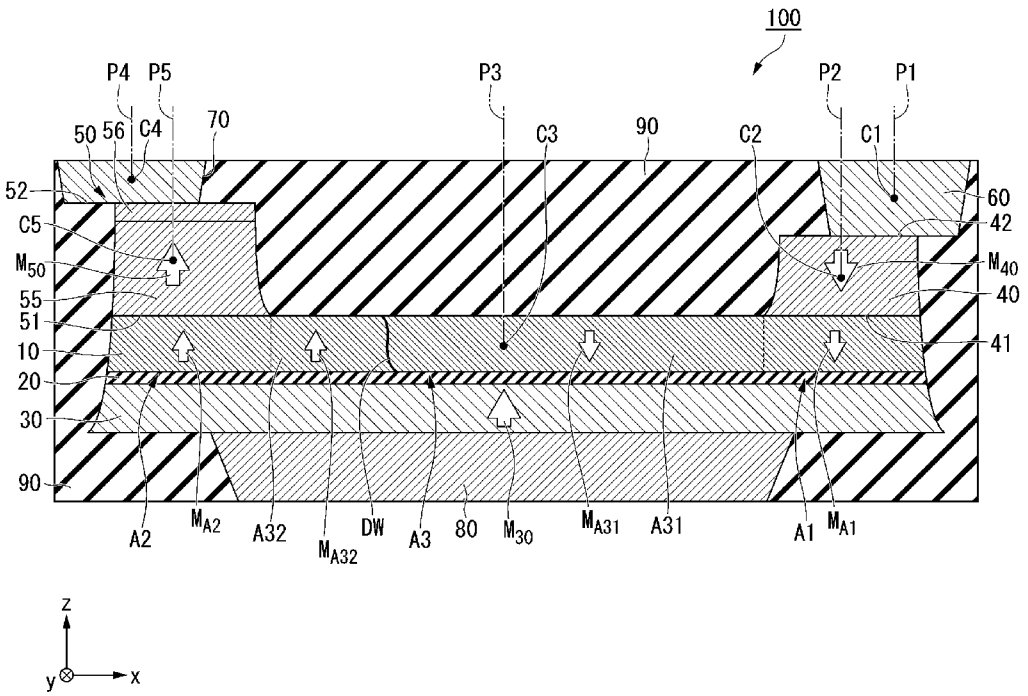
(72) 発明者：米村 祥吾 (**YONEMURA Shogo**)；〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 (JP). 柴田 竜雄(**SHIBATA Tatsuo**)；〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 (JP). 山田 章悟 (**YAMADA Shogo**)；〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 (JP).

(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 (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,

(54) **Title:** DOMAIN WALL-MOVING ELEMENT, MAGNETIC ARRAY, NEUROMORPHIC DEVICE, AND METHOD FOR MANUFACTURING DOMAIN WALL-MOVING ELEMENT

(54) 発明の名称： 磁壁移動素子、磁気アレイ、ニューロモルフィックデバイス及び磁壁移動素子の製造方法



(57) **Abstract:** This domain wall-moving element comprises: a first ferromagnetic layer that has a domain wall therein; a second ferromagnetic layer; a nonmagnetic layer that is sandwiched between the first ferromagnetic layer and the second ferromagnetic layer; a first fixed magnetization section that is connected to the first ferromagnetic layer; a second fixed magnetization section that is connected to the first ferromagnetic layer at a location that is distanced from the first fixed

WO 2025/134192 A1

［続葉有］

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, 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, ME, 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))

magnetization section in a first direction; a first electrode that is connected to the first fixed magnetization section; and a second electrode that is connected to the second fixed magnetization section. The second ferromagnetic layer is closer to a substrate than the first ferromagnetic layer. In the first direction, which is from the first fixed magnetization section toward the second fixed magnetization section, the center of the first electrode is located further removed from the center of the first ferromagnetic layer than the center of the first fixed magnetization section. The first fixed magnetization section has a first surface that is in contact with the first ferromagnetic layer, and a second surface that is opposite from the first surface. At least a section of the second surface is not in contact with the first electrode.

(57) 要約:この磁壁移動素子は、内部に磁壁を有する第1強磁性層と、第2強磁性層と、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層に挟まれる非磁性層と、前記第1強磁性層に接続された第1磁化固定部と、前記第1磁化固定部と第1方向に離間した位置で、前記第1強磁性層に接続された第2磁化固定部と、前記第1磁化固定部に接続された第1電極と、前記第2磁化固定部に接続された第2電極と、を備える。前記第2強磁性層は、前記第1強磁性層より基板の近くにある。前記第1磁化固定部から前記第2磁化固定部に向かう第1方向において、前記第1電極の中心は、前記第1磁化固定部の中心より前記第1強磁性層の中心から離れた位置にある。前記第1磁化固定部は、前記第1強磁性層と接する第1面と、前記第1面と対向する第2面を有する。前記第2面の少なくとも一部は、前記第1電極と接していない。

明　細　書

発明の名称 ：

磁壁移動素子、磁気アレイ、ニューロモルフィックデバイス及び磁壁移動素子の製造方法

技術分野

[0001]　本開示は、磁壁移動素子、磁気アレイ及びニューロモルフィックデバイス及び磁壁移動素子の製造方法に関する。

背景技術

[0002]　二つの強磁性層の磁化の相対角の変化に基づく抵抗値変化（磁気抵抗変化）を利用した磁気抵抗効果素子が知られている。例えば、特許文献１に記載の磁壁移動型の磁気抵抗効果素子（以下、磁壁移動素子という）は、磁気抵抗効果素子の一例である。磁壁移動素子は、磁壁の位置によって積層方向の抵抗値が変化し、多値又はアナログにデータを記録できる。磁壁移動素子は、抵抗変化の線形性及び対称性が高く、書き換え耐性に優れ、高速動作が可能である。

[0003]　特許文献１は、磁壁の移動範囲を制限する磁化固定部を第１磁化自由層（磁壁移動層）の両端に設けることを記載している。２つの磁化固定部は、それぞれ磁化の配向方向が異なる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第２０１１／０５２４７５号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005]　磁壁移動素子は、書き込み電流を印加することで、信号の書き込みを行う。書き込み電流は、磁化固定部に接続された電極を介して、磁壁移動素子に印加される。磁化固定部と電極との接触面積を広くするために、磁化固定部

と重なる位置に電極を形成する場合が多い。しかしながら、磁化固定部の中心位置と電極の中心位置が重なる場合に、磁壁移動素子の信頼性が低下する場合がある。

[0006] 本開示は上記問題に鑑みてなされたものであり、信頼性の高い、磁壁移動素子、磁気アレイ及びニューロモルフィックデバイス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

[0007] 第１の態様に係る磁壁移動素子は、内部に磁壁を有する第１強磁性層と、第２強磁性層と、前記第１強磁性層と前記第２強磁性層に挟まれる非磁性層と、前記第１強磁性層に接続された第１磁化固定部と、前記第１磁化固定部と第１方向に離間した位置で、前記第１強磁性層に接続された第２磁化固定部と、前記第１磁化固定部に接続された第１電極と、前記第２磁化固定部に接続された第２電極と、を備える。前記第２強磁性層は、前記第１強磁性層より基板の近くにある。前記第１磁化固定部から前記第２磁化固定部に向かう第１方向において、前記第１電極の中心は、前記第１磁化固定部の中心より前記第１強磁性層の中心から離れた位置にある。前記第１磁化固定部は、前記第１強磁性層と接する第１面と、前記第１面と対向する第２面を有する。前記第２面の少なくとも一部は、前記第１電極と接していない。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第１実施形態に係る磁気アレイのブロック図である。

[図2]第１実施形態に係る磁気アレイの集積領域の回路図である。

[図3]第１実施形態に係る磁気アレイの磁壁移動素子の近傍の断面図である。

[図4]第１実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図5]第１実施形態に係る磁壁移動素子の平面図である。

[図6]第１実施形態に係る磁壁移動素子の第１磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図7]第１実施形態に係る磁壁移動素子の第２磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図8]第１実施形態に係る磁壁移動素子の製造方法を説明するための図である。

[図9]第１実施形態に係る磁壁移動素子の製造方法を説明するための図である。

[図10]第１実施形態に係る磁壁移動素子の製造方法を説明するための図である。

[図11]第１実施形態に係る磁壁移動素子の製造方法を説明するための図である。

[図12]第１実施形態に係る磁壁移動素子の製造方法を説明するための図である。

[図13]ニューラルネットワークの概念図である。

[図14]第１実施形態にかかるニューロモルフィックデバイスを含むシステムを示すブロック図である。

[図15]第２実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図16]第２実施形態に係る磁壁移動素子の第１磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図17]第２実施形態に係る磁壁移動素子の第２磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図18]第３実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図19]第３実施形態に係る磁壁移動素子の第１磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図20]第３実施形態に係る磁壁移動素子の第２磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図21]第４実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図22]第４実施形態に係る磁壁移動素子の第１磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図23]第４実施形態に係る磁壁移動素子の第２磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図24]第５実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図25]第５実施形態に係る磁壁移動素子の第１磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図26]第５実施形態に係る磁壁移動素子の第２磁化固定層の近傍の拡大図である。

[図27]第６実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図28]第７実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図29]第８実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本実施形態について、図を適宜参照しながら詳細に説明する。以下の説明で用いる図面は、本実施形態の特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本実施形態はそれらに限定されるものではなく、本実施形態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。

[0010] まず方向について定義する。ｘ方向及びｙ方向は、後述する基板Ｓｕｂ（図３参照）の一面と略平行な方向である。ｘ方向は、後述する第１強磁性層が延びる方向である。ｘ方向は、第１方向の一例である。以下の図では、－ｘ方向を第１方向とする。ｙ方向は、ｘ方向と直交する方向である。ｙ方向は、第２方向の一例である。ｚ方向は、後述する基板から磁壁移動素子へ向かう方向である。ｚ方向は、積層方向の一例である。本明細書において、＋ｚ方向を「上」、－ｚ方向を「下」として表す場合があるが、これら表現は便宜上のものであり、重力方向を規定するものではない。また本明細書で「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。

[0011] ［第１実施形態］

図１は、第１実施形態にかかる磁気アレイＭＡのブロック図である。磁気

アレイＭＡは、集積領域１と周辺領域２とを有する。磁気アレイＭＡは、例えば、磁気メモリ、積和演算器、ニューロモーフィックデバイス、スピンメモリスタ、磁気光学素子に利用できる。

[0012] 集積領域１は、複数の磁壁移動素子が集積された領域である。磁気アレイＭＡをメモリとして用いる場合は、集積領域１にデータが蓄積される。磁気アレイＭＡをニューロモーフィックデバイスとして用いる場合は、集積領域１で学習及び推論が行われる。

[0013] 周辺領域２は、集積領域１内の磁壁移動素子の動作を制御する制御素子が実装されている領域である。周辺領域２は、例えば、制御装置３、抵抗検出装置４、出力部５を有する。

[0014] 制御装置３は、集積領域１内の複数の磁壁移動素子の少なくとも一つにパルスを印加できるように構成されている。制御装置３は、例えば、制御部６と電源７とを有する。

[0015] 制御部６は、例えば、プロセッサとメモリとを有する。プロセッサは、例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit）である。プロセッサは、メモリに記憶された動作プログラムに基づいて動作する。制御部６は、例えば、パルスを印加する磁壁移動素子のアドレス、所定の磁壁移動素子に印加するパルスの大きさ（電圧、パルス長）等を制御する。制御部６は、この他、クロック、カウンタ、乱数発生器等を有してもよい。クロックは、パルスを印加するタイミングの指標となり、カウンタは、パルスを印加した回数等をカウントする。電源７は、制御部６からの指示に従い、磁壁移動素子に向かってパルスを印加する。

[0016] 抵抗検出装置４は、集積領域１内の磁壁移動素子の抵抗値を検出できるように構成されている。抵抗検出装置４は、集積領域１内の磁壁移動素子のそれぞれの抵抗を検出してもよいし、例えば同じ列に属する磁壁移動素子の抵抗の合計を検出してもよい。抵抗検出装置４は、例えは、検出した抵抗値の大きさを比較する比較器を有する。比較器は、例えば、検出した抵抗値同士を比較してもよいし、事前に設定された基準抵抗値と検出した抵抗値とを比

較してもよい。

[0017] 出力部５は、抵抗検出装置４に接続されている。出力部５は、例えば、プロセッサ、出力コンデンサ、増幅器、コンバータ等を有する。磁気アレイＭＡをニューロモーフィックデバイスとして用いる場合は、出力部５は、抵抗検出装置４の検出結果を活性化関数に代入する演算を行ってもよい。演算は、例えば、プロセッサで行われる。出力部５は、演算結果を外部に出力する。磁気アレイＭＡをニューロモーフィックデバイスとして用いる場合は、例えば、演算結果を他の磁気アレイの入力信号として出力する等の動作を行ってもよいし、識別率として外部に出力する等の動作を行ってもよい。また出力部５は、演算結果を制御装置３にフィードバックしてもよい。

[0018] 図２は、第１実施形態に係る集積領域１の回路図である。集積領域１は、複数の磁壁移動素子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ＳＷ１と、複数の第２スイッチＳＷ２と、を備える。第３スイッチＳＷ３は、例えば、周辺領域２の制御装置３に属してもよい。

[0019] 複数の磁壁移動素子１００は、例えば、行列状に配列する。複数の磁壁移動素子１００は、実物の素子が行列状に配列するものに限られず、回路図において行列に配列するものでもよい。

[0020] 書き込み配線ＷＬのそれぞれは、データの書き込み時に用いられる。書き込み配線ＷＬはそれぞれ、制御装置３と１つ以上の磁壁移動素子１００とを電気的に接続する。共通配線ＣＬのそれぞれは、データの書き込み時及び読み出し時の両方に用いる。共通配線ＣＬのそれぞれは、例えば、抵抗検出装置４に接続されている。共通配線ＣＬは、複数の磁壁移動素子１００のそれぞれに設けられてもよいし、複数の磁壁移動素子１００に亘って設けられてもよい。読出し配線ＲＬのそれぞれは、データの読出し時に用いられる。読出し配線ＲＬはそれぞれ、制御装置３と１つ以上の磁壁移動素子１００とを電気的に接続する。

[0021] 第１スイッチＳＷ１、第２スイッチＳＷ２及び第３スイッチＳＷ３は、電

流の流れを制御する素子である。第１スイッチＳＷ１、第２スイッチＳＷ２及び第３スイッチ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）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（ＭＩＴ）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。

[0022] 第１スイッチＳＷ１、第２スイッチＳＷ２は、例えば、それぞれの磁壁移動素子１００に一つずつ接続されている。第１スイッチＳＷ１は、例えば、磁壁移動素子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ＳＷ２は、例えば、磁壁移動素子１００と共通配線ＣＬとの間に接続されている。第３スイッチＳＷ３は、例えば、複数の磁壁移動素子１００に亘って接続されている。第３スイッチＳＷ３は、例えば、読出し配線ＲＬに接続されている。

[0023] 第１スイッチＳＷ１、第２スイッチＳＷ２及び第３スイッチＳＷ３の位置関係は、図２に示す場合に限られない。例えば、第１スイッチＳＷ１は、複数の磁壁移動素子１００に亘って接続され、書き込み配線ＷＬの上流に位置してもよい。また例えば、第２スイッチＳＷ２は、複数の磁壁移動素子１００に亘って接続され、共通配線ＣＬの上流に位置してもよい。また例えば、第３スイッチＳＷ３は、それぞれの磁壁移動素子１００に一つずつ接続されていてもよい。

[0024] 図３は、第１実施形態に係る集積領域１の磁壁移動素子１００の近傍の断面図である。図３は、図２における一つの磁壁移動素子１００を第１強磁性層１０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。

[0025] 図３に示す第１スイッチＳＷ１及び第２スイッチＳＷ２は、トランジスタＴｒである。トランジスタＴｒは、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。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、いずれも半導体の活性領域である。図３は一例を示しただけであり、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。第３スイッチＳＷ３は、読出し配線ＲＬと電気的に接続され、例えば、図３においてｙ方向にずれた位置にある。

[0026] トランジスタＴｒ、書き込み配線ＷＬ、共通配線ＣＬ、読出し配線ＲＬ及び磁壁移動素子１００の間は、ｚ方向に延びるビア配線Ｖｗ又はｘｙ面内のいずれかの方向に延びる面内配線ＩＰｗで接続されている。ビア配線Ｖｗ及び面内配線ＩＰｗは、導電性を有する材料を含む。ｚ方向の異なる階層間は、ビア配線Ｖｗを除いて、絶縁層９０が形成されている。

[0027] 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。磁壁移動素子１００とトランジスタＴｒとは、ビア配線Ｖｗを除いて、絶縁層９０によって電気的に分離されている。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）等である。

[0028] 図４は、磁壁移動素子１００を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。図に示す矢印は、強磁性体の磁化の配向方向の一例である。図５は、磁壁移動素子１００をｚ方向から見た平面図である。

[0029] 磁壁移動素子１００は、例えば、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０と第１電極６０と第２電極７０と第３電極８０とを備える。集積領域１に含まれる複数の磁壁移動素子のうち少なくとも一つは、図４及び図５に示す磁壁移動素子１００である。

[0030] 第１強磁性層１０は、ｘ方向に延びる。第１強磁性層１０は、ｚ方向から見ると、ｘ方向の長さがｙ方向の長さより長い。第１強磁性層１０は、内部に２つの磁区を有し、２つの磁区の境界に磁壁ＤＷを有する。第１強磁性層１０は、例えば、磁気的な状態の変化により情報を磁気記録可能な層である。第１強磁性層１０は、アナログ層、磁気記録層、磁壁移動層とも呼ばれる

。

[0031] 第１強磁性層１０は、第１磁化領域Ａ１と第２磁化領域Ａ２と第３磁化領域Ａ３を有する。

[0032] 第１磁化領域Ａ１は、磁化M_{A1}の配向方向が一方向に固定された領域である。磁化が固定されているとは、磁壁移動素子１００の通常の動作（想定を超える外力が印加されていない）において、磁化が反転しないことをいう。第１磁化領域Ａ１は、例えば、第１強磁性層１０のうちｚ方向からみて第１磁化固定層４０と重なる領域である。第１磁化領域Ａ１の磁化M_{A1}は、例えば、第１磁化固定層４０の磁化M_{40}によって固定されている。

[0033] 第２磁化領域Ａ２は、磁化M_{A2}の配向方向が一方向に固定された領域である。第２磁化領域Ａ２の磁化M_{A2}の配向方向は、第１磁化領域Ａ１の磁化M_{A1}の配向方向と異なる。第２磁化領域Ａ２の磁化M_{A2}の配向方向は、例えば、第１磁化領域Ａ１の磁化M_{A1}の配向方向と反対である。第２磁化領域Ａ２は、例えば、第１強磁性層１０のうちｚ方向からみて第２磁化固定層５０と重なる領域である。第２磁化領域Ａ２の磁化M_{A2}は、例えば、第２磁化固定層５０の磁化M_{50}によって固定されている。

[0034] 第３磁化領域Ａ３は、第１強磁性層１０の第１磁化領域Ａ１及び第２磁化領域Ａ２以外の領域である。第３磁化領域Ａ３は、例えば、ｘ方向に第１磁化領域Ａ１と第２磁化領域Ａ２とに挟まれる領域である。

[0035] 第３磁化領域Ａ３は、磁化の向きが変化し、磁壁ＤＷが移動できる領域である。第３磁化領域Ａ３は、磁壁移動可能領域と称される。第３磁化領域Ａ３は、第１磁区Ａ３１と第２磁区Ａ３２とを有する。第１磁区Ａ３１と第２磁区Ａ３２とは、磁化の配向方向が反対である。第１磁区Ａ３１と第２磁区Ａ３２との境界が磁壁ＤＷである。第１磁区Ａ３１の磁化M_{A31}は、例えば、第１磁化領域Ａ１の磁化M_{A1}と同じ方向に配向する。第２磁区Ａ３２の磁化M_{A32}は、例えば、隣接する第２磁化領域Ａ２の磁化M_{A2}と同じ方向に配向する。磁壁ＤＷは、原則、第３磁化領域Ａ３内を移動し、第１磁化領域Ａ１及び第２磁化領域Ａ２には侵入しない。

[0036] 第３磁化領域Ａ３内における第１磁区Ａ３１と第２磁区Ａ３２との体積の比率が変化すると、磁壁ＤＷが移動する。磁壁ＤＷは、第３磁化領域Ａ３のｘ方向に書き込み電流を流すことによって移動する。例えば、第３磁化領域Ａ３に＋ｘ方向の書き込み電流（例えば、電流パルス）を印加すると、電子は電流と逆の－ｘ方向に流れるため、磁壁ＤＷは－ｘ方向に移動する。第１磁区Ａ３１から第２磁区Ａ３２に向って電流が流れる場合、第２磁区Ａ３２でスピン偏極した電子は、第１磁区Ａ３１の磁化M_{A31}を磁化反転させる。第１磁区Ａ３１の磁化M_{A31}が反転することで、磁壁ＤＷは＋ｘ方向に移動する。

[0037] 第１強磁性層１０は、磁性体により構成される。第１強磁性層１０は、強磁性体、フェリ磁性体、又はこれらと電流により磁気状態を変化させることが可能な反強磁性体との組み合わせでもよい。第１強磁性層１０は、Ｃｏ、Ｎｉ、Ｆｅ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ｇｄ、Ｔｂ、Ｍｎ、Ｇｅ、Ｇａからなる群から選択される少なくとも一つの元素を有することが好ましい。

[0038] 第１強磁性層１０に用いられる材料として、例えば、ＣｏとＮｉの積層膜、ＣｏとＰｔの積層膜、ＣｏとＰｄの積層膜、$Co_xFe_{1-x}B$（$0 \leqq x \leqq 1$）と後述する非磁性層２０と同様の材料との積層膜、ＭｎＧａ系材料、ＧｄＣｏ系材料、ＴｂＣｏ系材料が挙げられる。ＭｎＧａ系材料、ＧｄＣｏ系材料、ＴｂＣｏ系材料等のフェリ磁性体は飽和磁化が小さく、磁壁ＤＷを移動するために必要な閾値電流が小さくなる。またＣｏとＮｉの積層膜、ＣｏとＰｔの積層膜、ＣｏとＰｄの積層膜は、保磁力が大きく、磁壁ＤＷの移動速度が遅くなる。反強磁性体は、例えば、Mn_3X（ＸはＳｎ、Ｇｅ、Ｇａ、Ｐｔ、Ｉｒ等）、ＣｕＭｎＡｓ、Mn_2Au等である。第１強磁性層１０には、後述する第２強磁性層３０と同様の材料を適用することもできる。２種以上の積層膜、材料を適用する事もできる。

[0039] 非磁性層２０は、第１強磁性層１０と第２強磁性層３０とに挟まれる。非磁性層２０は、第１強磁性層１０と第２強磁性層３０との間の磁気的な結合を阻害する。非磁性層２０は、第２強磁性層３０の一面に積層される。

[0040] 非磁性層２０は、例えば、非磁性の絶縁体、半導体又は金属からなる。非磁性層２０は、例えば、非磁性の絶縁体であることが好ましい。非磁性の絶縁体は、例えば、Al_2O_3、SiO_2、MgO、$MgAl_2O_4$、およびこれらのＡｌ、Ｓｉ、Ｍｇの一部がＺｎ、Ｂｅ、Ｇａ、Ｔｉ等に置換された材料である。これらの材料は、バンドギャップが大きく、絶縁性に優れる。非磁性の絶縁体は、例えば、Ｍｇ又はＡｌを含む酸化物である。非磁性層２０が非磁性の絶縁体からなる場合、非磁性層２０はトンネルバリア層である。非磁性の金属は、例えば、Ｃｕ、Ａｕ、Ａｇ等である。非磁性の半導体は、例えば、Ｓｉ、Ｇｅ、$CuInSe_2$、$CuGaSe_2$、$Cu(In,Ga)Se_2$等である。

[0041] 非磁性層２０の厚みは、例えば、２０Å以上であり、２５Å以上でもよい。

[0042] 第２強磁性層３０は、第１強磁性層１０と共に、非磁性層２０を挟む。第２強磁性層３０は、少なくとも一部が第３磁化領域Ａ３とｚ方向に重なる位置にある。第２強磁性層３０は、例えば、第１強磁性層１０より基板Ｓｕｂの近くにある。

[0043] 第２強磁性層３０の磁化M_{30}は、第１強磁性層１０の第３磁化領域Ａ３の磁化より反転しにくい。第２強磁性層３０の磁化M_{30}は、第３磁化領域Ａ３の磁化が反転する程度の外力が印加された際に向きが変化せず、固定されている。第２強磁性層３０は、固定層、参照層と言われる場合もある。

[0044] 第２強磁性層３０は、強磁性体を含む。第２強磁性層３０は、例えば、第１強磁性層１０との間で、コヒーレントトンネル効果を得やすい材料を含む。第２強磁性層３０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を含む。第２強磁性層３０は、例えば、Ｃｏ－Ｆｅ、Ｃｏ－Ｆｅ－Ｂ、Ｎｉ－Ｆｅである。また、第２強磁性層３０の一部に、ＣｏとＮｉの積層膜、ＣｏとＰｔの積層膜、ＣｏとＰｄの積層膜を用いても良い。

[0045] 第２強磁性層３０は、例えば、ホイスラー合金でもよい。ホイスラー合金はハーフメタルであり、高いスピン分極率を有する。ホイスラー合金は、ＸＹＺ又はX_2YZの化学組成をもつ金属間化合物であり、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。ホイスラー合金として例えば、Co_2FeSi、Co_2FeGe、Co_2FeGa、Co_2MnSi、$Co_2Mn_{1-a}Fe_aAl_bSi_{1-b}$、$Co_2FeGe_{1-c}Ga_c$等が挙げられる。

[0046] 第２強磁性層３０は、複数の層を有し、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、非磁性のスペーサ層を挟む二つの磁性層からなる。磁性層は、例えば、強磁性体を含み、ＩｒＭｎ、ＰｔＭｎ等の反強磁性体を含んでもよい。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。

[0047] 第２強磁性層３０及び非磁性層２０のそれぞれは、例えば、ｘ方向において、第３磁化領域Ａ３より長い。非磁性層２０を挟んで第２強磁性層３０と第３磁化領域Ａ３とが向き合う部分が、磁壁移動素子１００の抵抗変化を担う。第２強磁性層３０及び非磁性層２０のｘ方向の長さが第３領域のｘ方向の長さより長いと、磁壁移動素子１００の抵抗変化幅をより多値に区分しやすくなる。

[0048] 第２強磁性層３０は、例えば、ｘ方向において、第１強磁性層１０より長い。ｚ方向から見て第２強磁性層３０が第１強磁性層１０の全体と重畳すると、第１強磁性層１０の放熱性が向上する。その結果、第１磁化領域Ａ１の磁化及び第２磁化領域Ａ２の磁化の安定性が高まり、磁壁移動素子１００のデータの信頼性が高まる。

[0049] 第１磁化固定層４０は、第１強磁性層１０に接続されている。第１磁化固定層４０は、第１磁化固定部の一例である。第１磁化固定層４０は、第１強磁性層１０の第１磁化領域Ａ１に接続されている。第１磁化固定層４０の磁化M_{40}は第１磁化領域Ａ１の磁化を固定する。

[0050] 第１磁化固定層４０は、例えば、強磁性体である。第１磁化固定層４０は、例えば、第１強磁性層１０又は第２強磁性層３０と同様の材料を適用できる。第１磁化固定層４０は、複数の層を有してもよい。例えば、第１磁化固定層４０は、複数の層の積層構造でもよく、製造時のマスク層、キャップ層等を含んでもよい。

[0051] 第１磁化固定層４０は、複数の層を有し、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、非磁性のスペーサ層を挟む二つの磁性層からなる。磁性層は、例えば、強磁性体を含み、ＩｒＭｎ、ＰｔＭｎ等の反強磁性体を含んでもよい。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。

[0052] また第１磁化固定層４０は、強磁性体に限られない。第１磁化固定層４０が強磁性体ではない場合は、第１磁化固定層４０と重なる領域で第１強磁性層１０を流れる電流の電流密度が急激に変化することで、磁壁ＤＷの移動が制限され、第１磁化領域Ａ１の磁化が固定される。

[0053] 第２磁化固定層５０は、第１磁化固定層４０とｘ方向に離間した位置で、第１強磁性層１０に接続されている。第２磁化固定層５０は、第２磁化固定部の一例である。第２磁化固定層５０は、第１強磁性層１０の第２磁化領域Ａ２に接続されている。第２磁化固定層５０の磁化M_{50}は第２磁化領域Ａ２の磁化を固定する。

[0054] 第２磁化固定層５０は、第１磁化固定層４０と同様の材料を用いることができる。第２磁化固定層５０は、シンセティック反強磁性構造（ＳＡＦ構造）でもよい。第２磁化固定層５０は、複数の層を有してもよい。例えば、第２磁化固定層５０は、複数の層の積層構造でもよく、製造時のマスク層、キャップ層等を含んでもよい。

[0055] 第１磁化固定層４０の膜厚と第２磁化固定層５０の膜厚とは、同じでも、異なってもよい。例えば、第１磁化固定層４０の膜厚は、第２磁化固定層５０の膜厚より厚い。第１磁化固定層４０の膜厚と第２磁化固定層５０の膜厚とが異なると、第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０の保磁力に差が生

じやすい。第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０との間に保磁力差があると、製造時点で、第１磁化固定層４０の磁化M_{40}の配向方向と第２磁化固定層５０の磁化M_{50}の配向方向とを異なる方向に設定しやすくなる。

[0056] また第２磁化固定層５０は、第１層５５と第２層５６とを有してもよい。すなわち、第２磁化固定層５０は、２層構造でもよい。第１層５５は、第２層５６より第１強磁性層１０の近くにある。第１層５５と第２層５６とは、異なる材料からなる。第１層５５は、例えば、第１磁化固定層４０と同様の材料を含む。第２層５６は、後述するマスク層９５の一部が残存したものである。第２層５６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）である。

[0057] 第１層５５と第２層５６との境界面の位置は、任意である。例えば、第１層５５と第２層５６との境界面のｚ方向の位置は、第１磁化固定層４０の上面（第２面４２）のｚ方向の位置と同じでもよい。

[0058] ここで、第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０の位置関係は、図４に示す例に限られない。第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０の位置関係は反対でもよく、第１磁化固定層４０が第２磁化固定層５０の＋ｘ方向の位置にあってもよい。

[0059] 第１電極６０は、第１磁化固定層４０に接続されている。第１電極６０は、第１磁化固定層４０と直接接してもよいし、層を挟んで間接的に接続してもよい。第１電極６０は、例えば、磁壁移動素子１００に書き込み電流を印加する際に用いられる書き込み電極である。書き込み電流は、第１電極６０と第２電極７０との間に流れる。第１電極６０は、導電性を有する材料を含む。

[0060] 第２電極７０は、第２磁化固定層５０に接続されている。第２電極７０は、第２磁化固定層５０と直接接してもよいし、層を挟んで間接的に接続してもよい。第２電極７０は、磁壁移動素子１００に書き込み電流を印加する際、及び、磁壁移動素子１００に読出し電流を印加する際に用いられる共通電

極である。第２電極７０は、導電性を有する材料を含む。

[0061] 第３電極８０は、第２強磁性層３０に接続されている。第３電極８０は、第２強磁性層３０と直接接してもよいし、層を挟んで間接的に接続してもよい。第３電極８０は、磁壁移動素子１００に読出し電流を印加する際に用いられる読み出し電極である。第３電極８０は、導電性を有する材料を含む。

[0062] 第１電極６０のｘ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０のｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。中心Ｃ１、Ｃ２、Ｃ３のそれぞれを通るｙｚ面をそれぞれ仮想面Ｐ１、Ｐ２、Ｐ３とすると、ｘ方向において、仮想面Ｐ１は、仮想面Ｐ２より仮想面Ｐ３から離れた位置にある。

[0063] 同様に、第２電極７０のｘ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０のｘ方向の中心Ｃ５より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。中心Ｃ１、Ｃ４、Ｃ５のそれぞれを通るｙｚ面をそれぞれ仮想面Ｐ１、Ｐ４、Ｐ５とすると、ｘ方向において、仮想面Ｐ４は、仮想面Ｐ５より仮想面Ｐ３から離れた位置にある。

[0064] 図５に示す例では、第１磁化固定層４０、第２磁化固定層５０、第１電極６０、第２電極７０のｙ方向の中心Ｃ１、Ｃ２、Ｃ４、Ｃ５は、y方向の同じ位置にあり、同一の仮想面Ｐ６上にある。

[0065] 図６は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００の第１磁化固定層４０の近傍の拡大図である。第１磁化固定層４０は、第１面４１と第２面４２と第１側面４３と第２側面４４とを有する。

[0066] 第１面４１は、第１強磁性層１０側の面であり、第１強磁性層１０と直接または間接的に接する面である。第２面４２は、第１面４１と対向する面である。第１側面４３は、磁壁移動素子１００の外側に位置する側面である。第２側面４４は、第２磁化固定層５０側に位置する側面である。

[0067] 第２面４２は、第１電極６０と接する接続面４２１と、第１電極６０と接しない非接続面４２２と、を有する。すなわち、第２面４２の少なくとも一部は、第１電極６０と接していない。

[0068] 第１側面４３は、例えば、第１電極６０の第１側面６３より磁壁移動素子１００の内側にあってもよい。すなわち、第１側面４３は、第１側面６３より仮想面Ｐ３の近くにあってもよい。第１側面６３は、第１電極６０の磁壁移動素子１００の外側に位置する側面であり、第２側面６４は、第１電極６０の第２磁化固定層５０側に位置する側面である。

[0069] また第２側面４４は、例えば、第１電極６０の第２側面６４より磁壁移動素子１００の内側にある。すなわち、第２側面４４は、第２側面６４より仮想面Ｐ３の近くにあってもよい。この場合、第１電極６０は、第１強磁性層１０の第３磁化領域Ａ３とｚ方向に重ならない。

[0070] 図７は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００の第２磁化固定層５０の近傍の拡大図である。第２磁化固定層５０は、第１面５１と第２面５２と第１側面５３と第２側面５４とを有する。

[0071] 第１面５１は、第１強磁性層１０側の面であり、第１強磁性層１０と直接または間接的に接する面である。第２面５２は、第１面５１と対向する面である。第１側面５３は、磁壁移動素子１００の外側に位置する側面である。第２側面５４は、第１磁化固定層４０側に位置する側面である。

[0072] 第２面５２は、第２電極７０と接する接続面５２１と、第２電極７０と接しない非接続面５２２と、を有する。すなわち、第２面５２の少なくとも一部は、第２電極７０と接していない。

[0073] 第１側面５３は、例えば、第２電極７０の第１側面７３より磁壁移動素子１００の内側にあってもよい。すなわち、第１側面５３は、第１側面７３より仮想面Ｐ３の近くにあってもよい。第１側面７３は、第２電極７０の磁壁移動素子１００の外側に位置する側面であり、第２側面７４は、第２電極７０の第１磁化固定層４０側に位置する側面である。

[0074] また第２側面５４は、例えば、第２電極７０の第２側面７４より磁壁移動素子１００の内側にある。すなわち、第２側面５４は、第２側面７４より仮想面Ｐ３の近くにあってもよい。この場合、第２電極７０は、第１強磁性層１０の第３磁化領域Ａ３とｚ方向に重ならない。

[0075] 磁壁移動素子１００は、上記の構成以外の層を有してもよい。例えば、第２強磁性層３０の非磁性層２０と反対側の面に、スペーサ層を介して、磁性層を設けてもよい。第２強磁性層３０、スペーサ層、磁性層は、シンセティック反強磁性構造（ＳＡＦ構造）となる。また、磁性層のスペーサ層と反対側の面に、下地層を設けてもよい。

[0076] 磁壁移動素子１００の各層の磁化の向きは、例えば磁化曲線を測定することにより確認できる。磁化曲線は、例えば、ＭＯＫＥ（Magneto Optical Kerr Effect）を用いて測定できる。ＭＯＫＥによる測定は、直線偏光を測定対象物に入射させ、その偏光方向の回転等が起こる磁気光学効果(磁気Kerr効果)を用いることにより行う測定方法である。

[0077] 磁壁移動素子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。図８～図１２は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００の製造方法を説明するための断面図である。

[0078] まず第１工程として、図８に示すように、第３電極８０を含む絶縁層９０上に、強磁性層９１、非磁性層９２、強磁性層９３、強磁性層９４を順に積層する。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）、原子レーザデポジッション法等を用いることができる。

[0079] 次いで、図９に示すように、積層した積層体を、第１強磁性層１０、非磁性層２０及び第２強磁性層３０の外形に合わせて加工する。積層体の加工は、フォトリソグラフィーおよびエッチング（例えば、Ａｒエッチング）等を用いて行うことができる。強磁性層９１は第２強磁性層３０となり、非磁性層９２は非磁性層２０となり、強磁性層９３は第１強磁性層１０となり、強磁性層９４は強磁性層９４Ａとなる。そして強磁性層９４Ａの所定の位置にマスク層９５を形成する。マスク層９５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）である。

[0080] 次いで、第２工程として、図１０に示すように、マスク層９５をマスクと

して、強磁性層９４Ａを加工する。強磁性層９４Ａは、２つの離間した強磁性層９４Ｂと強磁性層９４Ｃとなる。

[0081] 次いで、強磁性層９４Ｃが露出するまで、強磁性層９４Ｃ上のマスク層９５をエッチングする。この際、強磁性層９４Ｃの一部もエッチングされてもよい。エッチングされた強磁性層９４Ｃは、第１磁化固定層４０となる。強磁性層９４Ｂとマスク層９５のそれぞれは、第１層５５と第２層５６とからなる第２磁化固定層５０となる。そして、図１１に示すように、第１磁化固定層４０及び第２磁化固定層５０を埋めるように、絶縁層９０を形成する。そして、絶縁層９０上に、開口Ｈ１，Ｈ２が形成されたレジスト９６を形成する。

[0082] 次いで、第３工程及び第４工程として第１電極６０及び第２電極７０を作製する。第１電極６０及び第２電極７０は、図１２に示すように、開口Ｈ３、Ｈ４を導体で充填することで得られる。

[0083] まず図１２に示すように、レジスト９６の開口Ｈ１，Ｈ２を利用して、絶縁層９０に開口Ｈ３，Ｈ４を形成する。開口Ｈ３は、第１条件および第２条件を満たすように形成する。第１条件は、ｘ方向において、第１電極６０の中心を第１磁化固定層４０の中心より外側に配置するという条件である。また第２条件は、第１磁化固定層４０の第２面４２の少なくとも一部が第１電極６０と接しないという条件である。

[0084] 例えば、開口Ｈ３は、開口Ｈ３のｘ方向の中心Ｃ１’が、第１磁化固定層４０のｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置となるように形成する。開口Ｈ４は、開口Ｈ４のｘ方向の中心Ｃ４’が、第２磁化固定層５０のｘ方向の中心Ｃ４より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置となるように形成する。開口Ｈ３，Ｈ４を形成後に、レジスト９６は除去される。

[0085] 中心Ｃ１’が中心Ｃ２より外側に位置すると、第１強磁性層１０の第３磁化領域Ａ３と開口Ｈ３とがｚ方向に重なる部分を小さくできる。開口Ｈ３と第１強磁性層１０とがｚ方向に重なる場合、開口Ｈ３と第１強磁性層１０と

の間にある絶縁層９０の厚さｈは、他の部分の絶縁層９０の厚さより薄い。開口Ｈ３と第１強磁性層１０とがｚ方向に重なる場合、開口Ｈ３を加工する際のエネルギーが、この厚さｈの絶縁層９０に加わる。厚さｈの厚みが薄い場合、そのエネルギーの一部は第１強磁性層１０に加わり、第１強磁性層１０の磁化安定性を乱す。また厚さｈが薄い場合、開口Ｈ３の一部が第１強磁性層１０に至る場合もある。開口Ｈ３が第１強磁性層１０に至ると、第１電極６０と第１強磁性層１０とが短絡する。第１電極６０と第１強磁性層１０とが短絡しても、磁壁ＤＷは動作する。しかしながら、第１磁化固定層４０を通らない電流成分は、磁壁ＤＷを動かすことができないので、磁壁移動素子１００の動作効率が低下する。中心Ｃ１’が中心Ｃ２より外側に位置すると、開口Ｈ３が形成される位置がずれ、絶縁層９０の厚みが薄くなる部分を減らすことができる。

[0086] 同様に、中心Ｃ４’が中心Ｃ５より外側に位置すると、第１強磁性層１０の第３領域と開口Ｈ４とがｚ方向に重なる部分を小さくできる。開口Ｈ４と第１強磁性層１０とがｚ方向に重なる場合、開口Ｈ４と第１強磁性層１０との間にある厚さｈ’の絶縁層９０に、開口Ｈ４を加工する際のエネルギーが加わる。厚さｈ’の厚みが薄い場合、そのエネルギーの一部は第１強磁性層１０に加わり、第１強磁性層１０の磁化安定性を乱す。また厚さｈ’が薄い場合、開口Ｈ４の一部が第１強磁性層１０に至る場合もある。開口Ｈ４が第１強磁性層１０に至ると、第２電極７０と第１強磁性層１０とが短絡し、磁壁ＤＷの動作効率が低下する。中心Ｃ４’が中心Ｃ５より外側に位置すると、開口Ｈ４が形成される位置がずれ、絶縁層９０の厚みが薄くなる部分を減らすことができる。

[0087] 次いで、開口Ｈ３及び開口Ｈ４を導電体で充填する。開口Ｈ３に充填された導電体は第１電極６０となり、開口Ｈ４に充填された導電体は第２電極７０となる。第１電極６０は、第１条件及び第２条件を満たす。

[0088] 次いで、磁気アレイＭＡへの信号の書き込み動作及び磁気アレイＭＡからの信号の読出し動作を説明する。

[0089] まず磁気アレイＭＡへの信号の書き込み動作について説明する。書き込み動作は、例えば、制御部６に格納された動作プログラムをプロセッサが実行することで行われる。

[0090] まず制御装置３は、動作プログラムに従い、パルスを印加する磁壁移動素子１００を選択する。磁気アレイＭＡを磁気メモリとして用いる場合、パルスを印加する磁壁移動素子１００は、データを記憶させる素子である。磁気アレイＭＡをニューラルネットワークとして用いる場合、パルスを印加する磁壁移動素子１００は、学習に応じて重みを変化させる素子である。

[0091] 複数の磁壁移動素子１００のうち何れの磁壁移動素子１００に対してパルスを印加するかは、制御部６が制御する。制御部６は、パルスを印加する磁壁移動素子１００に接続された第１スイッチＳＷ１及び第２スイッチＳＷ２をＯＮにし、第３スイッチＳＷ３をＯＦＦにする。またパルスを印加しない磁壁移動素子１００に接続された第１スイッチＳＷ１及び第２スイッチＳＷ２の少なくともいずれか一方をＯＦＦにする。

[0092] そして、制御装置３は、動作プログラムに従い、磁壁移動素子１００に向かって書き込みパルスを出力する。書き込みパルスは、磁壁移動素子１００の第１強磁性層１０に沿って、第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０との間に印加される。書き込みパルスは、矩形波でも、スパイク波でも、その他の波形の波でもよい。書き込みパルスの回数、大きさ等を変えることで、磁壁ＤＷの位置が変化し、特定の磁壁移動素子１００に信号が書き込まれる。

[0093] 次いで、磁気アレイＭＡからの信号の読出し動作について説明する。読出し動作は、例えば、制御部６に格納された動作プログラムをプロセッサが実行することで行われる。

[0094] まず制御装置３は、動作プログラムに従い、読出しパルスを印加する磁壁移動素子１００を選択する。磁気アレイＭＡを磁気メモリとして用いる場合、読出しパルスを印加する磁壁移動素子１００は、データを読み出す素子である。磁気アレイＭＡをニューラルネットワークとして用いる場合、所定の

磁壁移動素子１００への読出しパルスの印加は、入力と重みとの積演算に対応する。すなわち、磁気アレイＭＡをニューラルネットワークとして用いる場合、読出し動作は、ニューラルネットワークの識別演算である。

[0095] 複数の磁壁移動素子１００のうち何れの磁壁移動素子１００に対してパルスを印加するかは、制御部６が制御する。制御部６は、パルスを印加する磁壁移動素子１００に接続された第３スイッチＳＷ３及び第２スイッチＳＷ２をＯＮにし、第１スイッチＳＷ１をＯＦＦにする。またパルスを印加しない磁壁移動素子１００に接続された第３スイッチＳＷ３及び第２スイッチＳＷ２の少なくともいずれか一方をＯＦＦにする。

[0096] 次いで、制御装置３は、動作プログラムに従い、所定の磁壁移動素子１００に読出しパルスを印加する。読出しパルスは、例えば、第３配線Ｗ３と第１磁化固定層４０との間に印加される。読出しパルスの電圧は、第１強磁性層１０の磁壁ＤＷを動かすのに必要な臨界電流密度未満の電流密度が得られる電圧である。すなわち、読出しパルスは、磁壁ＤＷを動かさない。

[0097] 抵抗検出装置４は、読出しパルスが印加された磁壁移動素子１００の抵抗値を検出する。出力部５は、例えば、演算結果を外部に出力する。このような手順で、特定の磁壁移動素子１００から信号を読み出すことができる。

[0098] 本実施形態に係る磁壁移動素子１００によれば、開口Ｈ３又は開口Ｈ４（図１２）と第１強磁性層１０との間に、絶縁層９０の厚みが薄い領域が形成される範囲を狭くできる。そのため、開口Ｈ３及び開口Ｈ４を形成する際に、第１強磁性層１０に加わる加工ダメージを低減できる。第１強磁性層１０に加わる加工ダメージは、磁壁ＤＷの安定動作を阻害し、磁壁移動素子１００の信頼性の低下の一因となる。したがって、本実施形態に係る磁壁移動素子１００は、動作安定性に優れ、信頼性が高い。

[0099] また磁壁移動素子１００への書き込み電流は、例えば、第１電極６０、第１磁化固定層４０、第１強磁性層１０、第２磁化固定層５０、第２電極７０の順に流れる。第１電極６０及び第２電極７０において、書き込み電流は、ｚ方向に流れる。このｚ方向に流れる書き込み電流は、その周囲に磁場を生

み出す。第１電極６０の中心Ｃ１が、第１磁化固定層４０の中心Ｃ２より外側に位置する場合、中心Ｃ１と中心Ｃ２のｘ方向の位置が一致する場合と比較して、第１電極６０と磁壁ＤＷが動く第１強磁性層１０の第３磁化領域Ａ３との距離が長くなる。そのため、第１電極６０を流れる書き込み電流によって生じる磁場が、磁壁ＤＷに及ぼす影響を小さくできる。同様に、第２電極７０の中心Ｃ４が、第２磁化固定層５０の中心Ｃ５より外側に位置する場合、第２電極７０を流れる書き込み電流によって生じる磁場が、磁壁ＤＷに及ぼす影響を小さくできる。その結果、本実施形態に係る磁壁移動素子１００は、動作安定性に優れる。

[0100] 第１実施形態に係る磁壁移動素子１００は、例えば、磁気メモリ、ニューロモーフィックデバイスに用いることができる。

[0101] 磁気メモリの場合、磁壁移動素子１００のそれぞれは、データを記憶する素子として機能する。磁壁移動素子１００の磁壁ＤＷの位置で、磁壁移動素子１００の抵抗が変化し、この抵抗値がデータが記憶される。

[0102] ニューロモルフィックデバイスの場合、磁壁移動素子１００のそれぞれは、積演算素子として機能する。磁壁移動素子の磁壁ＤＷの位置で、磁壁移動素子１００の抵抗が変化し、この抵抗値が重みを表す。

[0103] ニューロモーフィックデバイスは、人間の脳におけるニューロンとシナプスとの関係を人工的に模倣した装置である。ニューロモーフィックデバイスは、ニューラルネットワークの演算を行うことができる。

[0104] 図１３は、ニューラルネットワークＮＮの模式図である。ニューラルネットワークＮＮは、入力層L_{in}と中間層L_{m}と出力層L_{out}とを有する。図１３では中間層L_{m}が３層の例を提示しているが、中間層L_{m}の数は問わない。入力層L_{in}と中間層L_{m}と出力層L_{out}のそれぞれは複数のチップＣを有し、それぞれのチップＣは脳におけるニューロンに対応する。入力層L_{in}と中間層L_{m}と出力層L_{out}とのそれぞれは、伝達手段で接続されている。伝達手段は、脳におけるシナプスに対応する。図１３に示したチップＣ及び伝達手段の数は一例である。

[0105] ニューラルネットワークＮＮは、伝達手段（シナプス）が学習することで、問題の正答率を高める。学習は将来使えそうな知識を情報から見つけることである。ニューラルネットワークＮＮは、伝達手段の重みを変えながら動作することで、学習する。伝達手段は、入力された信号に重みをかける積演算と、積演算された結果を足す和演算を行う。すなわち、伝達手段は、積和演算を行う。この積演算を本実施形態に係る磁壁移動素子１００は担う。

[0106] 図１４は、第１実施形態にかかるニューロモルフィックデバイス２００を含むシステム３００を示すブロック図である。システム３００は、複数のセンサー２０１とニューロモルフィックデバイス２００と通信部２０２とを有する。

[0107] 複数のセンサー２０１のそれぞれは、用途に合わせて任意のセンサーを用いることができる。例えば、温度センサー、湿度センサー、速度センサー、圧力センサー、加速度センサー等を複数のセンサー２０１として用いることができる。これらのセンサーからの信号は、例えば、ニューラルネットワークＮＮにおける入力層L_{in}に入力される信号に対応する。

[0108] ニューロモルフィックデバイス２００は、例えば、複数の集積領域１を有する。集積領域１のそれぞれでは積和演算を行う。集積領域１のそれぞれは、ニューラルネットワークＮＮの各階層から次の階層に至る演算を行う。集積領域１のそれぞれは、別々の制御装置３を有してもよいし、制御装置３を共有してもよい。

[0109] 磁壁移動素子１００は、磁壁ＤＷの位置によってコンダクタンス（又は抵抗）が変化する。磁壁移動素子１００のコンダクタンス（又は抵抗）は、ニューラルネットワークＮＮにおける伝達手段の重みに対応する。磁壁移動素子１００は、コンダクタンス（又は抵抗）が入力に対して線形的に変化する。例えば、複数のセンサー２０１のうち特定のセンサー２０１の情報（例えば、温度）が重要な場合は、ニューロモルフィックデバイス２００が学習する際に、そのセンサー２０１からの信号の伝搬を担う磁壁移動素子１００のコンダクタンス（重み）を大きくする。

[0110] 磁壁移動素子１００は、入力される電圧と磁壁移動素子１００自身のコンダクタンス（又は抵抗）の積を信号として出力するため、積演算素子として機能する。磁気アレイＭＡは、複数の磁壁移動素子１００からの出力を合成するため、積和演算器として機能する。複数の磁壁移動素子１００による積和演算は、制御装置３で制御される。

[0111] ニューロモルフィックデバイス２００は、学習と推論を行う。磁壁移動素子１００のコンダクタンス（伝達手段の重みに対応）は、学習時に調整される。推論は、設定された磁壁移動素子１００のコンダクタンス（伝達手段の重みに対応）を用いて行われる。

[0112] システム３００に用いられるニューロモルフィックデバイス２００は、学習と推論を両方行うことができるものでもよいし、推論のみを行うものでもよい。推論のみを行う場合は、タスクに合わせた学習を事前に行い、そのタスクに合わせた重みをニューロモルフィックデバイス２００の磁壁移動素子１００にインストールする。例えば、事前学習で求められた伝達手段の重みに対応するように、それぞれの磁壁移動素子１００のコンダクタンスを調整する。ニューロモルフィックデバイス２００が推論のみを行うものであれば、エッジデバイスでの計算負荷を低減できる。

[0113] 通信部２０２は、ニューロモルフィックデバイス２００での演算結果を外部に出力する。例えば、ニューロモルフィックデバイス２００で求められた所定のタスクに対する推論結果が、通信部２０２に入力され、通信部２０２はその情報を外部に出力する。通信部２０２は、有線でも無線でもよい。

[0114] 本実施形態に係る磁壁移動素子１００は動作安定性に優れるため、システム３００の信頼性が高い。

[0115] ［第２実施形態］

図１５は、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１の断面図である。図１５は、磁壁移動素子１０１を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。磁壁移動素子１０１は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０１において、磁壁移動素子１０

０と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0116] 磁壁移動素子１０１は、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０Ａと第２磁化固定層５０Ａと第１電極６０Ａと第２電極７０Ａとを有する。第１磁化固定層４０Ａ、第２磁化固定層５０Ａ、第１電極６０Ａ、第２電極７０Ａのそれぞれは、形状又は他の層との接続状態が異なる点が第１磁化固定層４０、第２磁化固定層５０、第１電極６０、第２電極７０と異なり、その他の構成は同様である。

[0117] 第１電極６０Ａのｘ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０Ａのｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。第２電極７０Ａのｘ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０Ａのｘ方向の中心Ｃ５より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。

[0118] 図１６は、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１の第１磁化固定層４０Ａの近傍の拡大図である。第１磁化固定層４０Ａは、第１面４１と第２面４２Ａと第１側面４３Ａと第２側面４４とを有する。

[0119] 第２面４２Ａは、第１面４１と対向する面である。第２面４２Ａは、第１電極６０Ａと接する接続面４２３と、第１電極６０Ａと接しない非接続面４２４と、を有する。すなわち、第２面４２Ａの少なくとも一部は、第１電極６０Ａと接していない。

[0120] 接続面４２３は、非接続面４２４より第１強磁性層１０の近くにある。接続面４２３は、非接続面４２４とｚ方向の位置が異なる。この構成は、第１磁化固定層４０Ａの一部に食い込むように開口を形成し、その開口を導電体で充填することで形成される。第１電極６０Ａは、第１磁化固定層４０Ａに形成された段差に嵌合している。

[0121] 第１側面４３Ａは、磁壁移動素子１０１の外側に位置する側面である。第１側面４３Ａは、第１電極６０Ａと接する接続面４３１と、第１電極６０Ａと接しない非接続面４３２と、を有する。第１電極６０Ａは、第１磁化固定層４０Ａの側面と接している。接続面４３１は、非接続面４３２より中心Ｃ３の近くにあり、磁壁移動素子１０１の内側にある。接続面４３１は、非接

続面４３２とｘ方向の位置が異なる。

[0122] 図１７は、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１の第２磁化固定層５０Ａの近傍の拡大図である。第２磁化固定層５０Ａは、第１面５１と第２面５２Ａと第１側面５３Ａと第２側面５４とを有する。

[0123] 第２面５２Ａは、第１面５１と対向する面である。第２面５２Ａは、第２電極７０Ａと接する接続面５２３と、第２電極７０Ａと接しない非接続面５２４と、を有する。すなわち、第２面５２Ａの少なくとも一部は、第２電極７０Ａと接していない。

[0124] 接続面５２３は、非接続面５２４より第１強磁性層１０の近くにある。接続面５２３は、非接続面５２４とｚ方向の位置が異なる。この構成は、第２磁化固定層５０Ａの一部に食い込むように開口を形成し、その開口を導電体で充填することで形成される。第２電極７０Ａは、第２磁化固定層５０Ａに形成された段差に嵌合している。

[0125] 第１側面５３Ａは、磁壁移動素子１０１の外側に位置する側面である。第１側面５３Ａは、第２電極７０Ａと接する接続面５３１と、第２電極７０Ａと接しない非接続面５３２と、を有する。第２電極７０Ａは、第２磁化固定層５０Ａの側面と接している。接続面５３１は、非接続面５３２より中心Ｃ３の近くにあり、磁壁移動素子１０１の内側にある。接続面５３１は、非接続面５３２とｘ方向の位置が異なる。

[0126] 第２磁化固定層５０において、第１層５５と第２層５６との境界面の位置は、接続面５２３（第２電極７０Ａの底面）と同じでもよいし、異なっていてもよい。

[0127] 第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１は、第１電極６０Ａと第１磁化固定層４０Ａとの中心軸がずれ、第２電極７０Ａと第２磁化固定層５０Ａとの中心軸がずれているため、製造時点で第１強磁性層１０に加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこの構成を満たすことで、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することも低減できる。したがって、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１０

０と同様の効果が得られる。

[0128] ［第３実施形態］

図１８は、第３実施形態に係る磁壁移動素子１０２の断面図である。図１８は、磁壁移動素子１０２を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。磁壁移動素子１０２は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０２において、磁壁移動素子１００と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0129] 磁壁移動素子１０２は、第１強磁性層１０Ｂと非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０Ｂと第２磁化固定層５０Ｂと第１電極６０Ｂと第２電極７０Ｂとを有する。第１強磁性層１０Ｂ、第１磁化固定層４０Ｂ、第２磁化固定層５０Ｂ、第１電極６０Ｂ、第２電極７０Ｂのそれぞれは、形状又は他の層との接続状態が異なる点が第１強磁性層１０、第１磁化固定層４０、第２磁化固定層５０、第１電極６０、第２電極７０と異なり、その他の構成は同様である。

[0130] 第１電極６０Ｂのｘ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０Ｂのｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０Ｂのｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。第２電極７０Ｂのｘ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０Ｂのｘ方向の中心Ｃ５より第１強磁性層１０Ｂのｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。

[0131] 図１９は、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０２の第１磁化固定層４０Ｂの近傍の拡大図である。第１磁化固定層４０Ｂは、第１面４１と第２面４２Ｂと第１側面４３Ｂと第２側面４４とを有する。

[0132] 第２面４２Ｂは、第１面４１と対向する面である。第２面４２Ｂは、第１電極６０Ｂと接していない。第１側面４３Ｂは、第１電極６０Ｂと接している。

[0133] 第１電極６０Ｂは、第１磁化固定層４０Ｂ及び第１強磁性層１０Ｂに接している。第１電極６０Ｂは、第１磁化固定層４０Ｂ及び第１強磁性層１０Ｂに亘る開口を形成したのち、開口を導電体で充填することで形成される。第

１電極６０Ｂは、第１強磁性層１０Ｂに形成された段差と嵌合している。

[0134] 第１強磁性層１０Ｂの第１側面１３Ｂは、第１電極６０Ｂと接する接続面１３１と、第１電極６０Ｂと接しない非接続面１３２と、を有する。接続面１３１は、第１電極６０Ｂと第１強磁性層１０Ｂとの境界のうちｘ方向と交差する第１境界面に該当する。接続面１３１は、非接続面１３２より磁壁移動素子１０２の内側にあり、非磁性層２０の側面より磁壁移動素子１０２の内側にある。

[0135] 図２０は、第３実施形態に係る磁壁移動素子１０２の第２磁化固定層５０Ｂの近傍の拡大図である。第２磁化固定層５０Ｂは、第１面５１と第２面５２Ｂと第１側面５３Ｂと第２側面５４とを有する。

[0136] 第２面５２Ｂは、第１面５１と対向する面である。第２面５２Ｂは、第２電極７０Ｂと接していない。第１側面５３Ｂは、第２電極７０Ｂと接している。

[0137] 第２電極７０Ｂは、第２磁化固定層５０Ｂ及び第１強磁性層１０Ｂと接している。第２電極７０Ｂは、第２磁化固定層５０Ｂ及び第１強磁性層１０Ｂに亘る開口を形成したのち、開口を導電体で充填することで形成される。第２電極７０Ｂは、第１強磁性層１０Ｂに形成された段差と嵌合している。

[0138] 第１強磁性層１０Ｂの第２側面１４Ｂは、第２電極７０Ｂと接する接続面１４１と、第２電極７０Ｂと接しない非接続面１４２と、を有する。接続面１４１は、第２電極７０Ｂと第１強磁性層１０Ｂとの境界のうちｘ方向と交差する第１境界面に該当する。接続面１４１は、非接続面１４２より磁壁移動素子１０２の内側にあり、非磁性層２０の側面より磁壁移動素子１０２の内側にある。

[0139] 第３実施形態に係る磁壁移動素子１０２は、第１電極６０Ｂと第１磁化固定層４０Ｂとの中心軸がずれ、第２電極７０Ｂと第２磁化固定層５０Ｂとの中心軸がずれているため、製造時点で第１強磁性層１０Ｂに加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこの構成を満たすことで、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することも低減できる。したがって、第３

実施形態に係る磁壁移動素子１０２は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様の効果が得られる。

[0140] ［第４実施形態］

図２１は、第４実施形態に係る磁壁移動素子１０３の断面図である。図２１は、磁壁移動素子１０３を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。磁壁移動素子１０３は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０３において、磁壁移動素子１００と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0141] 磁壁移動素子１０３は、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０と第１電極６０Ｃと第２電極７０Ｃとを有する。第１電極６０Ｃ、第２電極７０Ｃのそれぞれは、形状又は他の層との接続状態が異なる点が第１電極６０、第２電極７０と異なり、その他の構成は同様である。

[0142] 第１電極６０Ｃのｘ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０のｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。第２電極７０Ｃのｘ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０のｘ方向の中心Ｃ５より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。

[0143] 図２２は、第４実施形態に係る磁壁移動素子１０３の第１磁化固定層４０の近傍の拡大図である。

[0144] 第１磁化固定層４０の第２面４２の少なくとも一部は、第１電極６０Ｃと接していない。第１電極６０Ｃは、第１磁化固定層４０の第２面４２及び第１側面４３と接している。第１電極６０Ｃは、第１磁化固定層４０の第２面４２より－ｚ方向に位置する部分を有する。

[0145] 図２３は、第４実施形態に係る磁壁移動素子１０３の第２磁化固定層５０の近傍の拡大図である。

[0146] 第２磁化固定層５０の第２面５２の少なくとも一部は、第２電極７０Ｃと接していない。第２電極７０Ｃは、第２磁化固定層５０の第２面５２及び第１側面５３と接している。第２電極７０Ｃは、第２磁化固定層５０の第２面

５２より－ｚ方向に位置する部分を有する。

[0147] 第４実施形態に係る磁壁移動素子１０３は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様に、製造時点で第１強磁性層１０に加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこの構成を満たすことで、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することも低減できる。

[0148] ［第５実施形態］

図２４は、第５実施形態に係る磁壁移動素子１０４の断面図である。図２４は、磁壁移動素子１０４を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。磁壁移動素子１０４は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０４において、磁壁移動素子１００と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0149] 磁壁移動素子１０４は、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０と第１電極６０Ｄと第２電極７０Ｄとを有する。第１電極６０Ｄ、第２電極７０Ｄのそれぞれは、形状又は他の層との接続状態が異なる点が第１電極６０、第２電極７０と異なり、その他の構成は同様である。

[0150] 第１電極６０Ｄのｘ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０のｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。第２電極７０Ｄのｘ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０のｘ方向の中心Ｃ５より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。

[0151] 図２５は、第５実施形態に係る磁壁移動素子１０４の第１磁化固定層４０の近傍の拡大図である。

[0152] 第１磁化固定層４０の第２面４２の少なくとも一部は、第１電極６０Ｄと接していない。第１電極６０Ｄは、第１磁化固定層４０の第２面４２及び第１側面４３と接している。また第１電極６０Ｄは、第１強磁性層１０の側面とも接している。第１電極６０Ｄは、第１磁化固定層４０の第２面４２より－ｚ方向に位置する部分を有する。

[0153] 図２６は、第５実施形態に係る磁壁移動素子１０４の第２磁化固定層５０

の近傍の拡大図である。

[0154] 第２磁化固定層５０の第２面５２の少なくとも一部は、第２電極７０Ｄと接していない。第２電極７０Ｄは、第２磁化固定層５０の第２面５２及び第１側面５３と接している。また第２電極７０Ｄは、第１強磁性層１０の側面とも接している。第２電極７０Ｄは、第２磁化固定層５０の第２面５２より－ｚ方向に位置する部分を有する。

[0155] 第５実施形態に係る磁壁移動素子１０４は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様に、製造時点で第１強磁性層１０に加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこの構成を満たすことで、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することも低減できる。

[0156] ［第６実施形態］

図２７は、第６実施形態に係る磁壁移動素子１０５の平面図である。磁壁移動素子１０５は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０５において、磁壁移動素子１００と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0157] 磁壁移動素子１０５は、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０と第１電極６０Ｅと第２電極７０Ｅとを有する。第１電極６０Ｅと第２電極７０Ｅのそれぞれは、ｙ方向の位置が異なる点が第１電極６０と第２電極７０のそれぞれと異なり、その他の構成は同様である。

[0158] 第１電極６０Ｅのｘ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０のｘ方向の中心Ｃ２より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。第２電極７０Ｅのｘ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０のｘ方向の中心Ｃ５より第１強磁性層１０のｘ方向の中心Ｃ３から離れた位置にある。

[0159] 第１電極６０Ｅのｙ方向の中心Ｃ１は、第１磁化固定層４０のｙ方向の中心Ｃ２及び第１強磁性層１０のｙ方向の中心Ｃ３と、ｙ方向にずれた位置にある。中心Ｃ１を通るｘｚ面を仮想面Ｐ７、中心Ｃ３を通るｘｚ面を仮想面Ｐ６とすると、仮想面Ｐ７と仮想面Ｐ６とはｙ方向にずれている。

[0160] 第２電極７０Ｅのｙ方向の中心Ｃ４は、第２磁化固定層５０のｙ方向の中心Ｃ５及び第１強磁性層１０のｙ方向の中心Ｃ３と、ｙ方向にずれた位置にある。中心Ｃ４を通るｘｚ面を仮想面Ｐ８、中心Ｃ３を通るｘｚ面を仮想面Ｐ６とすると、仮想面Ｐ８と仮想面Ｐ６とはｙ方向にずれている。

[0161] 図２７に示す例では、第１電極６０Ｅと第２電極７０Ｅがいずれも、第１強磁性層１０に対して＋ｙ方向にずれている例を示したが、第１電極６０Ｅと第２電極７０Ｅがいずれも第１強磁性層１０に対して－ｙ方向にずれていてもよいし、第１電極６０Ｅと第２電極７０Ｅがそれぞれ第１強磁性層１０に対して異なる方向にずれていてもよい。

[0162] 第６実施形態に係る磁壁移動素子１０５は、第１電極６０Ｅと第１磁化固定層４０との中心軸がずれ、第２電極７０Ｅと第２磁化固定層５０Ｂとの中心軸がずれているため、製造時点で第１強磁性層１０に加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこれらの中心軸はｙ方向にもずれているため、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することもより低減できる。したがって、第６実施形態に係る磁壁移動素子１０５は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様の効果が得られる。

[0163] ［第７実施形態］

図２８は、第７実施形態に係る磁壁移動素子１０６の断面図である。図２８は、磁壁移動素子１０６を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。磁壁移動素子１０６は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０６において、磁壁移動素子１００と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0164] 磁壁移動素子１０６は、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０と第１電極６０Ｆと第２電極７０と中間層８５とを有する。第１電極６０Ｆは、形状又は他の層との接続状態が異なる点が第１電極６０と異なり、その他の構成は同様である。

[0165] 中間層８５は、第１磁化固定層４０と第１電極６０Ｆとの間にある。第１電極６０Ｆは、中間層８５を介して第１磁化固定層４０と接している。中間

層８５は、導電性を有する材料からなり、例えば金属からなる。

[0166] 中間層８５は、マスク層９５（図１０参照）をエッチングして、第１磁化固定層４０を形成した後に形成される。中間層８５は、第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０との間の高さの差を無くすように、第１磁化固定層４０上に形成される。中間層８５の上面と、第２磁化固定層５０の上面（図１１におけるマスク層９５の上面）との高さ位置が揃うと、開口Ｈ３と開口Ｈ４（図１２参照）を掘る深さがおおよそ同等になる。そのため、開口Ｈ３と開口Ｈ４との同時形成が容易になり、製造プロセスを短縮化できる。

[0167] 第７実施形態に係る磁壁移動素子１０６は、第１電極６０Ｆと第１磁化固定層４０との中心軸がずれ、第２電極７０と第２磁化固定層５０Ｂとの中心軸がずれているため、製造時点で第１強磁性層１０に加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこの構成を満たすことで、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することも低減できる。したがって、第７実施形態に係る磁壁移動素子１０６は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様の効果が得られる。

[0168] ［第８実施形態］

図２９は、第８実施形態に係る磁壁移動素子１０７の断面図である。図２９は、磁壁移動素子１０７を第１強磁性層１０のｙ方向の中心を通るｘｚ平面で切断した断面図である。磁壁移動素子１０７は、磁壁移動素子１００と置き換えることができる。磁壁移動素子１０７において、磁壁移動素子１００と同様の構成には、同様の符号を付し説明を省く。

[0169] 磁壁移動素子１０７は、第１強磁性層１０と非磁性層２０と第２強磁性層３０と第１磁化固定層４０と第２磁化固定層５０と第１電極６０と第２電極７０Ｇとを有する。第２電極７０Ｇは、形状又は他の層との接続状態が異なる点が第２電極７０と異なり、その他の構成は同様である。

[0170] 第１実施形態から第５実施形態では、第１電極６０と第１磁化固定層４０との中心軸がずれ、かつ、第２電極７０と第２磁化固定層５０との中心軸がずれている例を示したが、いずれか一方のみの中心軸がずれる構成でもよい

。磁壁移動素子１０５は、第１電極６０と第１磁化固定層４０とのｘ方向の中心軸がずれ、第２電極７０Ｇと第２磁化固定層５０とのｘ方向の中心軸が一致している例である。第２磁化固定層５０は、全面で第２電極７０Ｅと接している。ここでは、第１実施形態の構成をベースに、第１電極６０と第１磁化固定層４０とのｘ方向の中心軸のみがずれている例を示したが、第２実施形態から第５実施形態に係る構成でも同様の構成を選択できる。

[0171] 図２９では、第１電極６０と第１磁化固定層４０とのｘ方向の中心軸がずれ、第２電極７０Ｇと第２磁化固定層５０とのｘ方向の中心軸が一致する例を図示したが、第１電極６０と第１磁化固定層４０とのｘ方向の中心軸が一致し、第２電極７０Ｇと第２磁化固定層５０とのｘ方向の中心軸がずれていてもよい。第１磁化固定層４０は、第２磁化固定層５０より厚みが薄いため、第１電極６０と第１磁化固定層４０とのｘ方向の中心軸がずれていることが好ましい。図１２に示すように、開口Ｈ３と第１強磁性層１０との間にある絶縁層９０の厚さｈは、開口Ｈ４と第１強磁性層１０との間にある絶縁層９０の厚さｈ’より薄い。そのため、第１電極６０と第１磁化固定層４０とのｘ方向の中心軸がずれている方が、開口Ｈ３を形成する際に、第１強磁性層１０に対して加工ダメージを与えるリスクが下がるためである。

[0172] 第８実施形態に係る磁壁移動素子１０７は、第１電極６０と第１磁化固定層４０との中心軸がずれているため、製造時点で第１強磁性層１０に加工ダメージを与えるリスクが少ない。またこの構成を満たすことで、書き込み電流が生み出す磁場が磁壁ＤＷの動作を阻害することも低減できる。したがって、第８実施形態に係る磁壁移動素子１０７は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様の効果が得られる。

[0173] 以上、本発明の好ましい実施の形態について詳述したが、本発明はこの実施形態に限られるものではない。例えば、実施形態の特徴的な構成を組み合わせてもよいし、発明の要旨を変更しない範囲で一部を変更してもよい。例えば、第１磁化固定部の近傍の構造と、第２磁化固定部の近傍の構造と、が異なる実施形態の構成の組み合わせでもよい。

符号の説明

[0174] １　集積領域

２　周辺領域

３　制御装置

４　抵抗検出装置

５　出力部

６　制御部

７　電源

１０、１０Ｂ　第１強磁性層

２０　非磁性層

３０　第２強磁性層

４０、４０Ａ、４０Ｂ　第１磁化固定層

５０、５０Ａ、５０Ｂ　第２磁化固定層

５５　第１層

５６　第２層

６０、６０Ａ、６０Ｂ、６０Ｃ、６０Ｄ、６０Ｅ、６０Ｆ　第１電極

７０、７０Ａ、７０Ｂ、７０Ｃ、７０Ｄ、７０Ｅ、７０Ｇ　第２電極

８０　第３電極

８５　中間層

１００、１０１、１０２、１０３、１０４、１０５、１０６、１０７　磁壁移動素子

１３１、１４１、４２１、４２３、４３１、５２１、５２３、５３１　接続面

１３２、１４２、４２２、４２４、４３２、５２２、５２４、５３２　非接続面

２００　ニューロモルフィックデバイス

２０１　センサー

２０２　通信部

３００　システム

Ｃ１、Ｃ１’、Ｃ２、Ｃ３、Ｃ４、Ｃ４’、Ｃ５　中心

ＭＡ　磁気アレイ

請求の範囲

[請求項1] 内部に磁壁を有する第１強磁性層と、

第２強磁性層と、

前記第１強磁性層と前記第２強磁性層に挟まれる非磁性層と、

前記第１強磁性層に接続された第１磁化固定部と、

前記第１磁化固定部と第１方向に離間した位置で、前記第１強磁性層に接続された第２磁化固定部と、

前記第１磁化固定部に接続された第１電極と、

前記第２磁化固定部に接続された第２電極と、を備え、

前記第２強磁性層は、前記第１強磁性層より基板の近くにあり、

前記第１方向において、前記第１電極の中心は、前記第１磁化固定部の中心より前記第１強磁性層の中心から離れた位置にあり、

前記第１磁化固定部は、前記第１強磁性層と接する第１面と、前記第１面と対向する第２面を有し、

前記第２面の少なくとも一部は、前記第１電極と接していない、磁壁移動素子。

[請求項2] 前記第２面の前記第１電極と接する第１接続面は、前記第２面の前記第１電極と接しない第１非接続面より前記第１強磁性層の近くにある、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項3] 前記第１電極は、前記第１磁化固定部の側面と接している、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項4] 前記第１電極は、前記第１強磁性層の側面と接している、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項5] 前記第１電極と前記第１強磁性層との境界のうち前記第１方向と交差する第１境界面は、前記非磁性層の第１側面より、前記第１強磁性層の前記第１方向の中心の近くにある、請求項４に記載の磁壁移動素子。

[請求項6] 積層方向から見て、前記第１方向と直交する第２方向における前記

第１電極の中心位置が、前記第１強磁性層の前記第２方向における中心位置と異なる、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項7] 前記第１磁化固定部の厚みは、前記第２磁化固定部の厚みより薄い、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項8] 前記第１磁化固定部と前記第１電極との間に、中間層をさらに有する、請求項７に記載の磁壁移動素子。

[請求項9] 前記第１方向において、前記第２電極の中心は、前記第２磁化固定部の中心より前記第１強磁性層の中心から離れた位置にある、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項10] 前記第１磁化固定部又は第２磁化固定部は、第１層と第２層とを有し、

前記第１層は、前記第２層より第１強磁性層の近くにある、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項11] 請求項１に記載の磁壁移動素子を含む、磁気アレイ。

[請求項12] 請求項１に記載の磁壁移動素子を含む、ニューロモルフィックデバイス。

[請求項13] 第２強磁性層と非磁性層と第１強磁性層とを含む積層体を積層する第１工程と、

前記第１強磁性層の一面に、互いに離間するように、第１磁化固定部と第２磁化固定部とを形成する第２工程と、

前記第１磁化固定部と接する第１電極を形成する第３工程と、

前記第２磁化固定部と接する第２電極を形成する第４工程と、を有し、

前記第３工程において、前記第１電極は、第１条件と第２条件を満たすように形成され、

前記第１条件は、前記第１磁化固定部から前記第２磁化固定部に向かう第１方向において、前記第１電極の中心が前記第１磁化固定部の中心より前記第１強磁性層の中心から離れた位置にするという条件で

あり、

前記第２条件は、前記第１磁化固定部の前記第１強磁性層と接する第１面と対向する第２面の少なくとも一部が、前記第１電極と接しないという条件である、磁壁移動素子の製造方法。

[請求項14] 前期第１方向において、前記第２電極の中心が前記第２磁化固定部の中心より前記第１強磁性層の中心から離れた位置となるように、前記第２電極を形成する、請求項１３に記載の磁壁移動素子の製造方法。

[請求項15] 前記第３工程は、

前記第１磁化固定部及び前記第２磁化固定部の周囲を絶縁層で被覆する工程と、

前記絶縁層に第１開口を形成する工程と、

前記第１開口を導電体で充填する工程と、を備え、

前記第１開口は、前記第１方向において、前記第１開口の中心が前記第２磁化固定部の中心より前記第１強磁性層の中心から離れた位置になるように形成される、請求項１３に記載の磁壁移動素子の製造方法。

[請求項16] 前記第１磁化固定部は、前記第２磁化固定部より積層方向の厚みが薄い、請求項１３に記載の磁壁移動素子の製造方法。

[請求項17] 前記第１磁化固定部と前記第１電極との間に、中間層を形成する工程をさらに備える、請求項１６に記載の磁壁移動素子の製造方法。

[請求項18] 前記第２工程は、

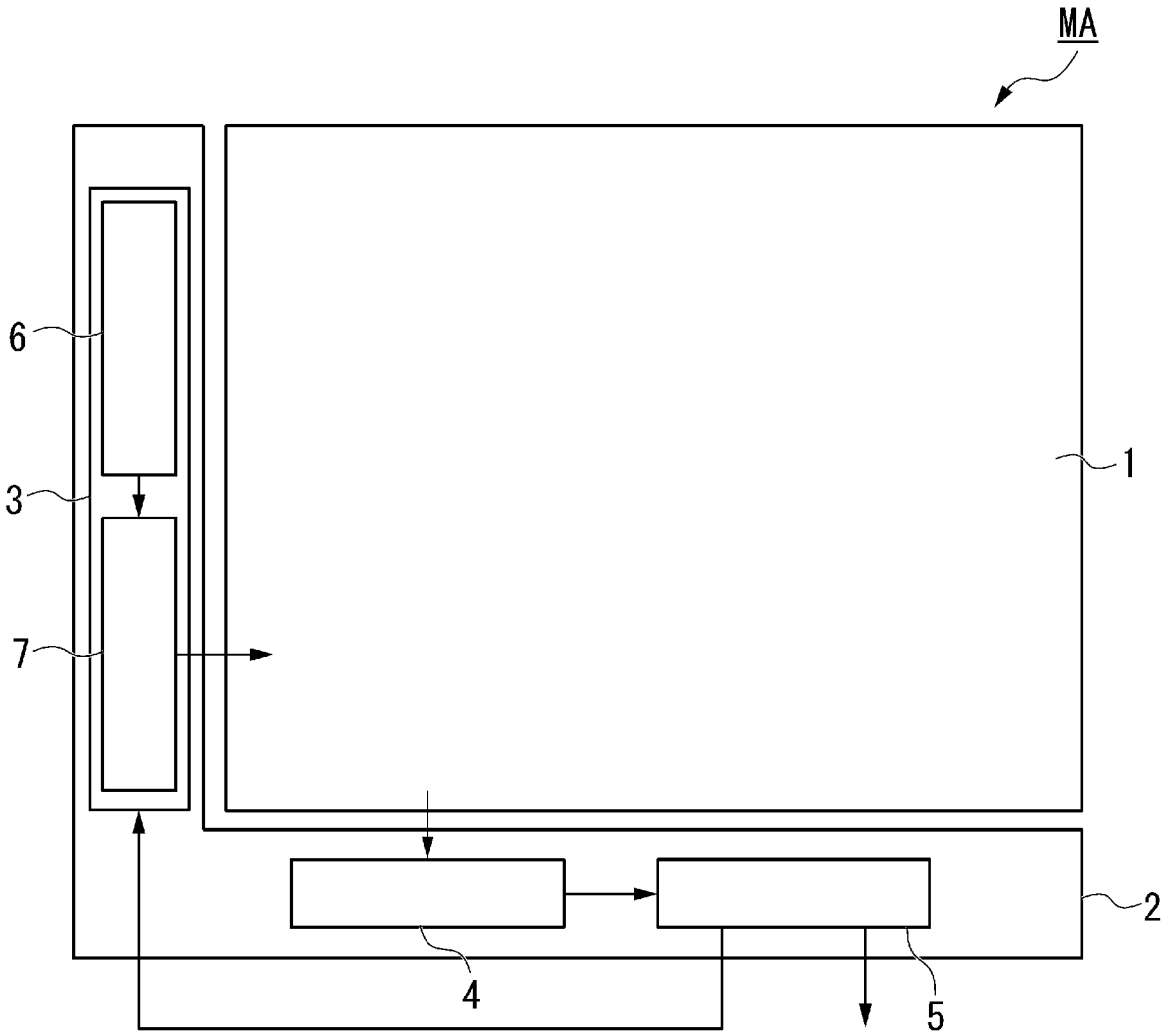
前記第１強磁性層の一面に、強磁性層を形成する工程と、

前記強磁性層の一部を被覆するマスク層を形成する工程と、

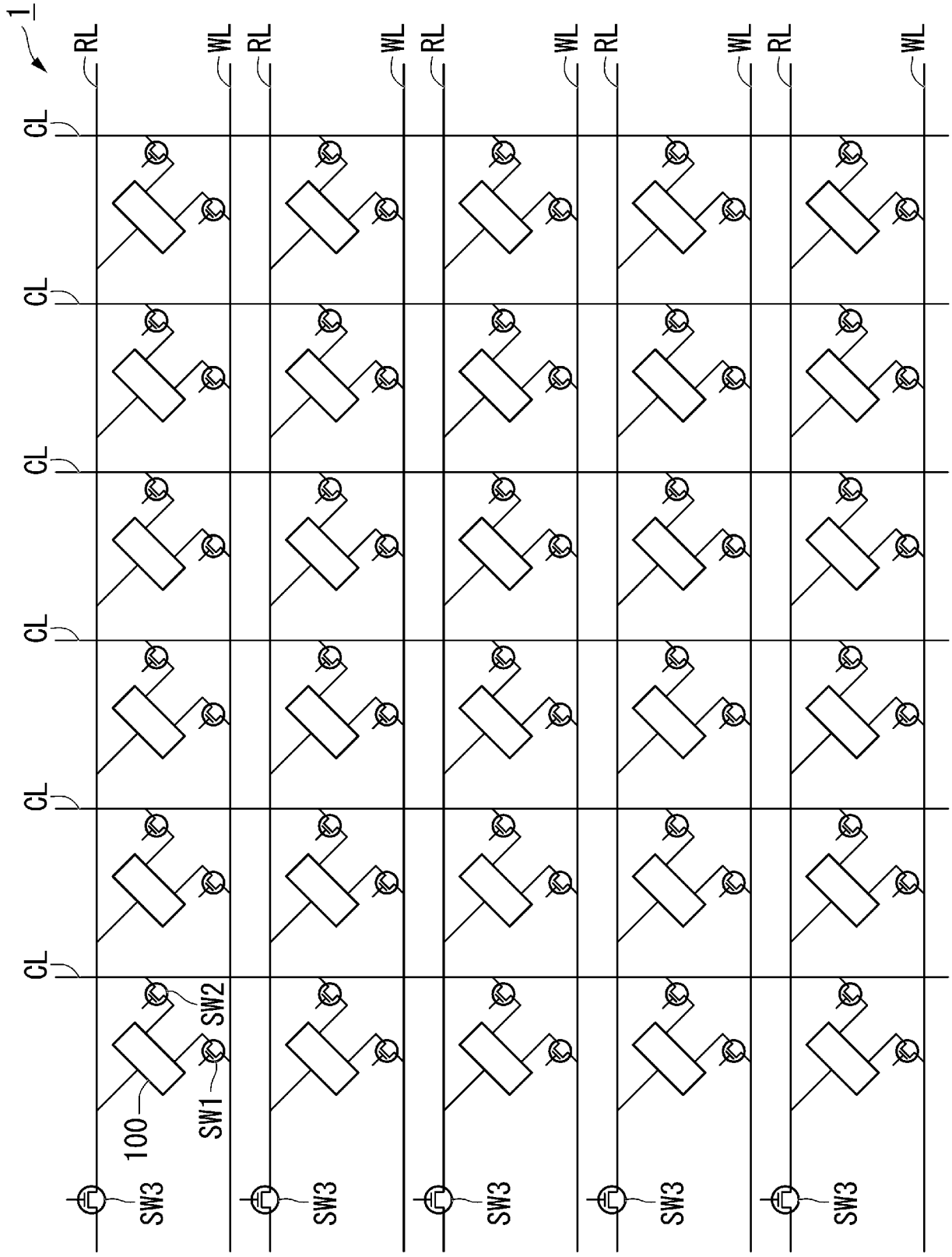
前記マスク層を介して前記強磁性層を加工する工程と、

前記マスク層の一部を除去する工程と、を有する、請求項１３に記載の磁壁移動素子の製造方法。

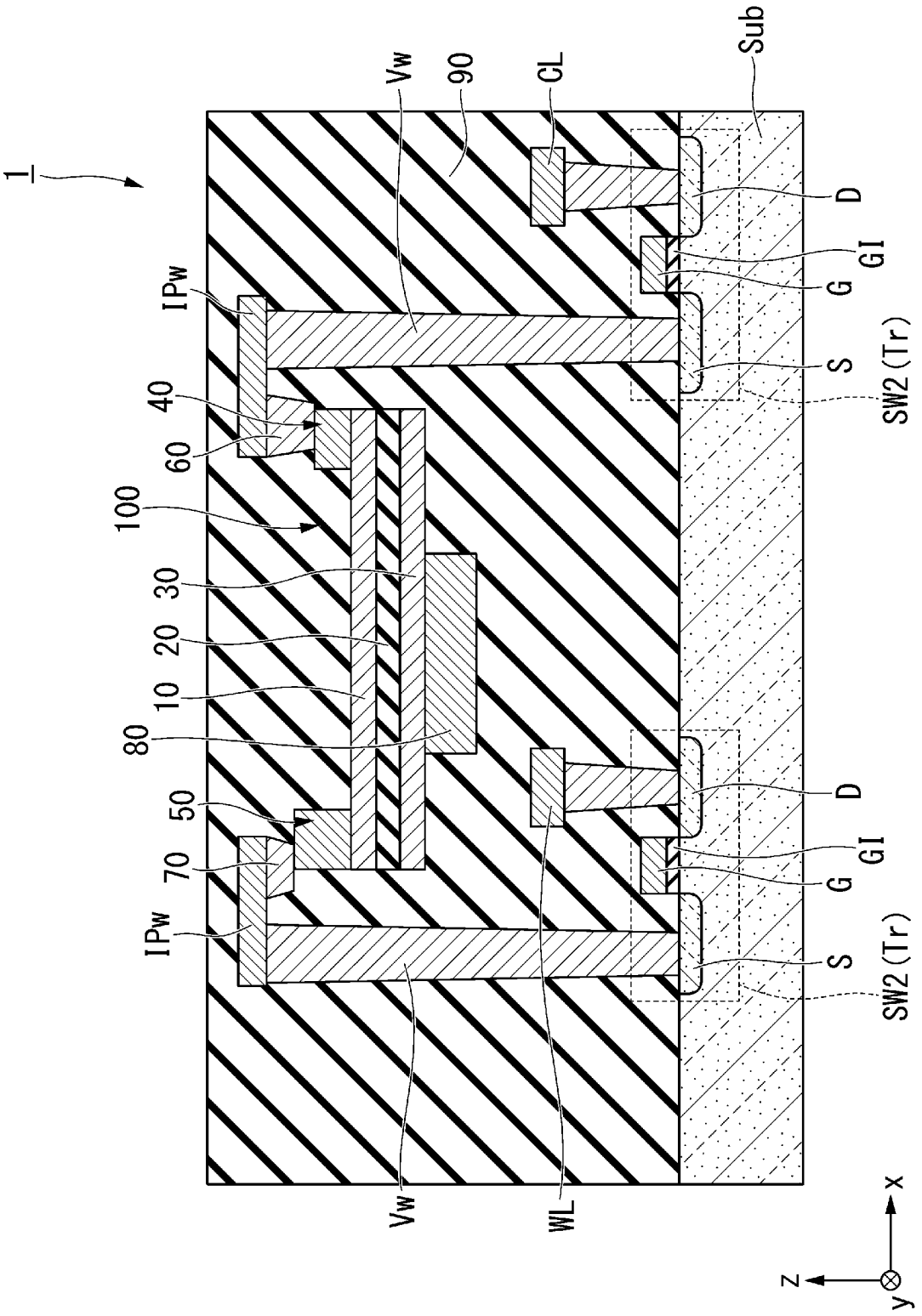
[図1]



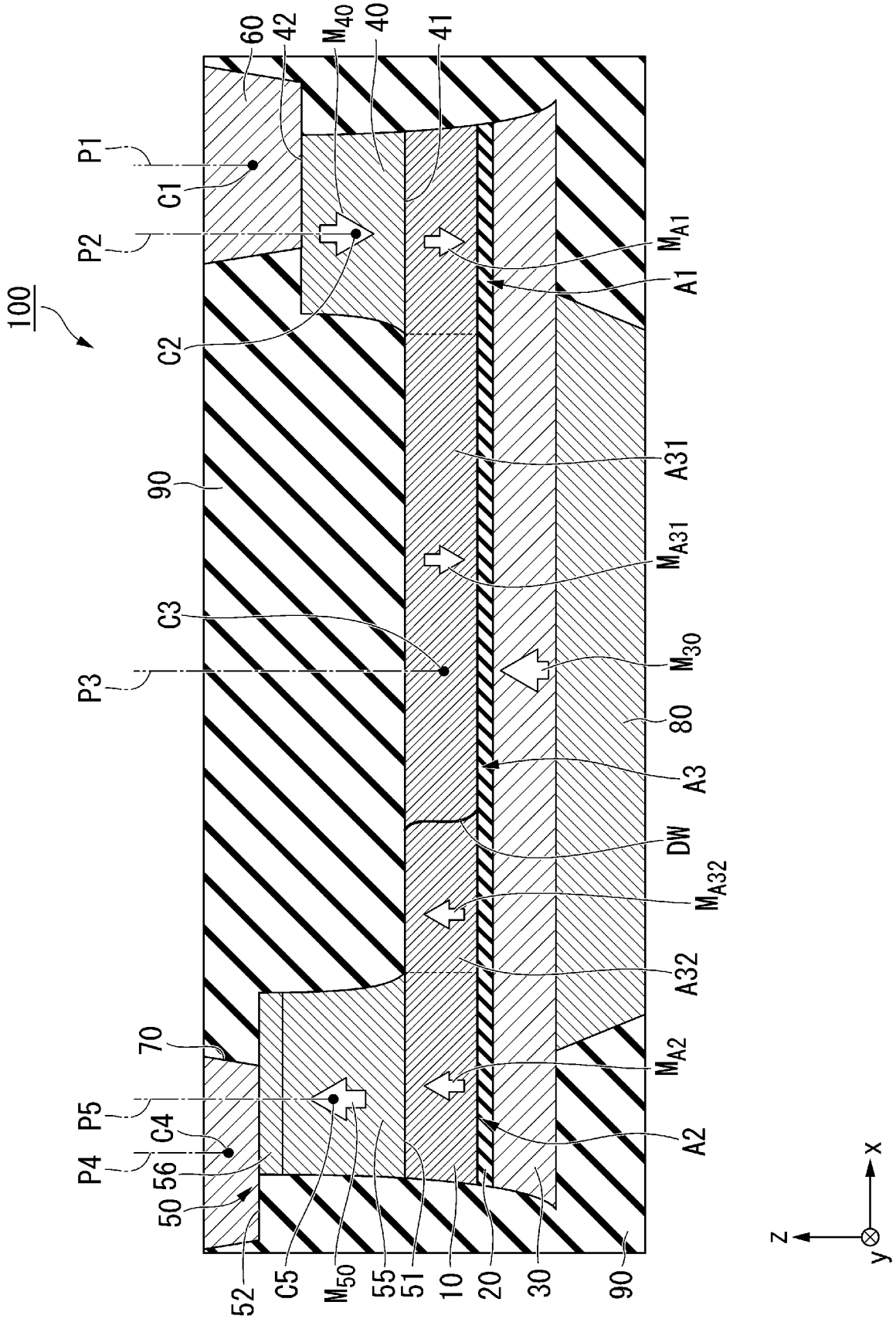
[図2]



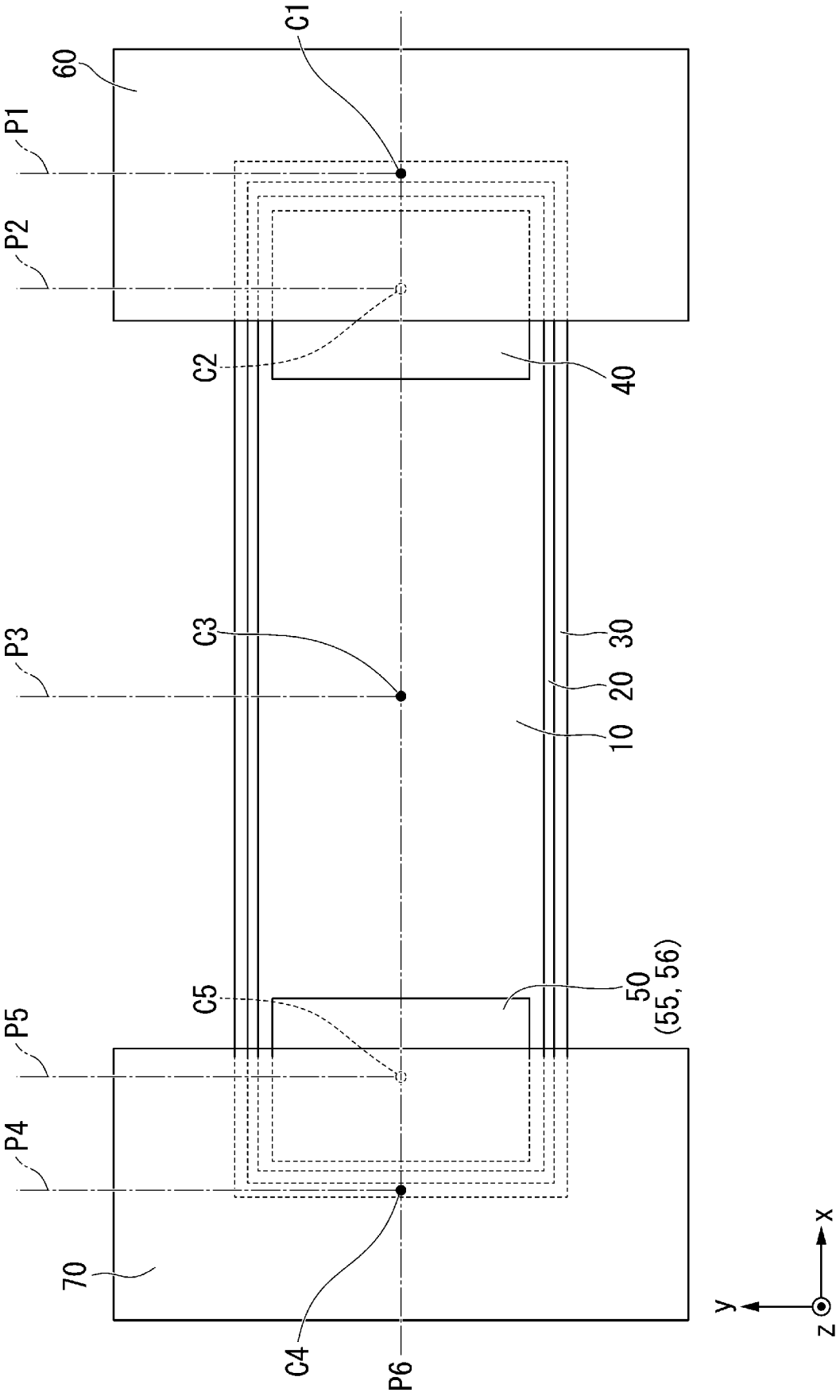
[図3]



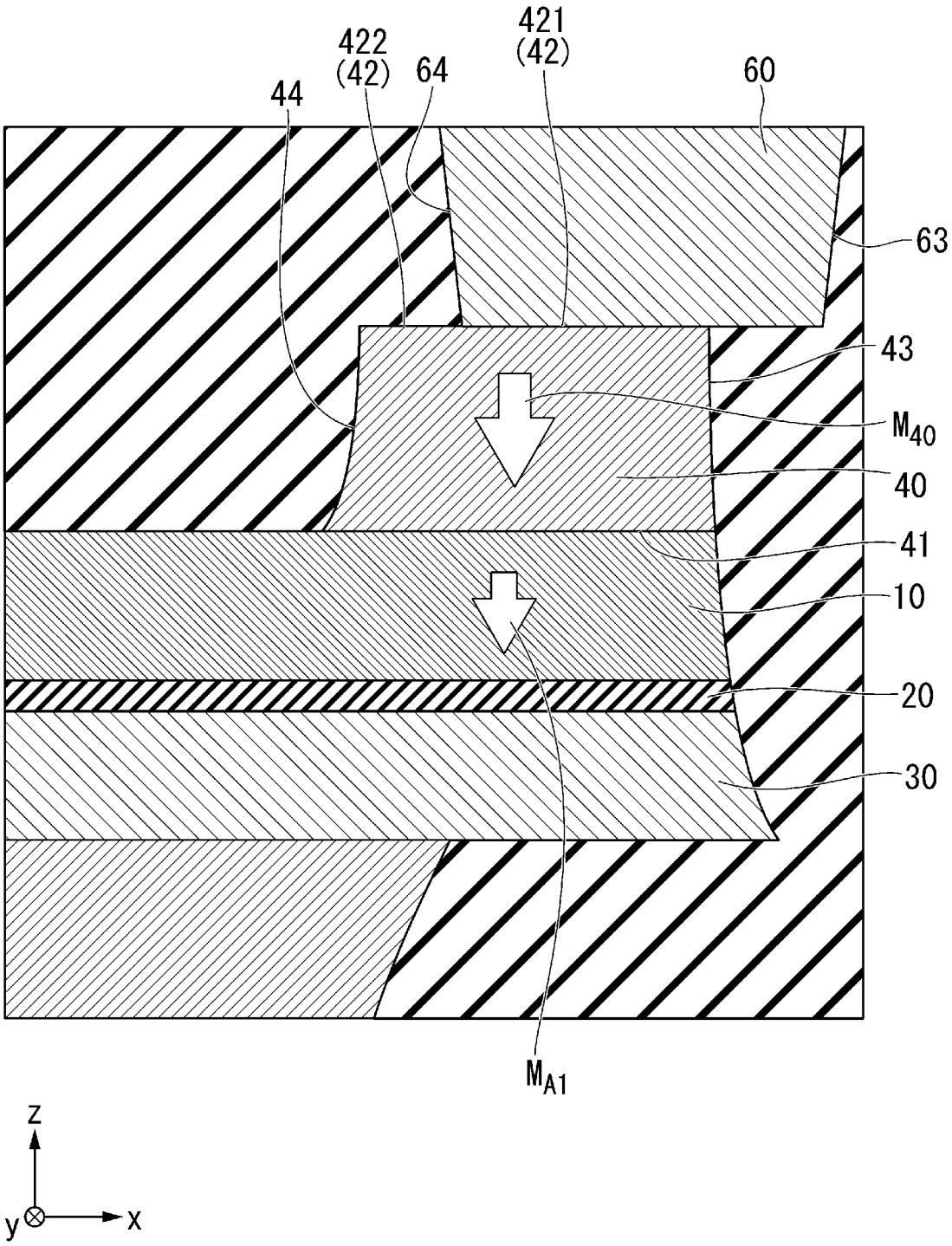
[図4]


100
P1
C1
P2
C2
90
C3
P3
P5
C4
P4
56
50
52
C5
M50
55
51
10
20
30
90
80
70
60
42
M40
40
41
MA1
A1
A31
MA31
M30
A3
DW
MA32
A32
MA2
A2
x
z
y

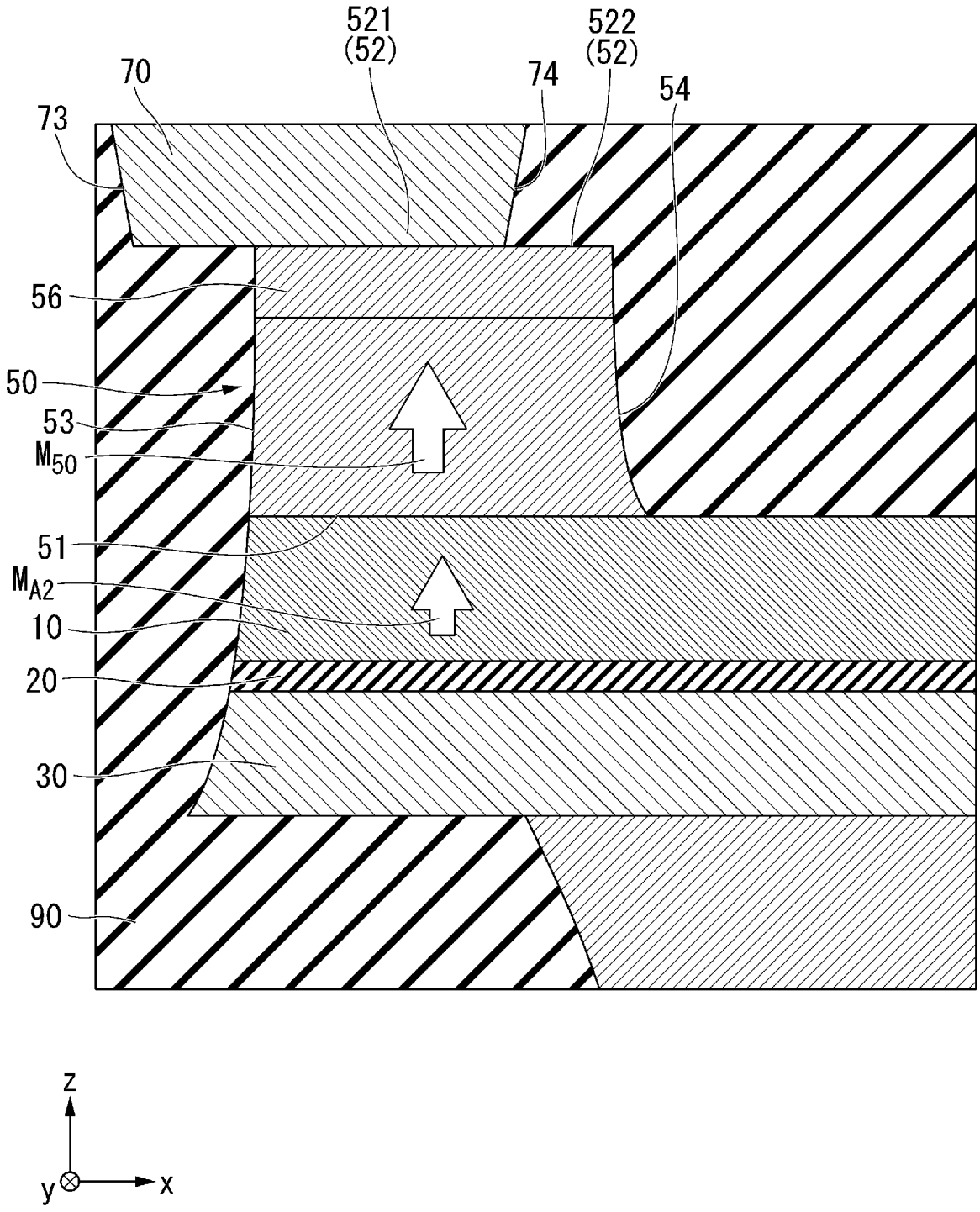
[図5]



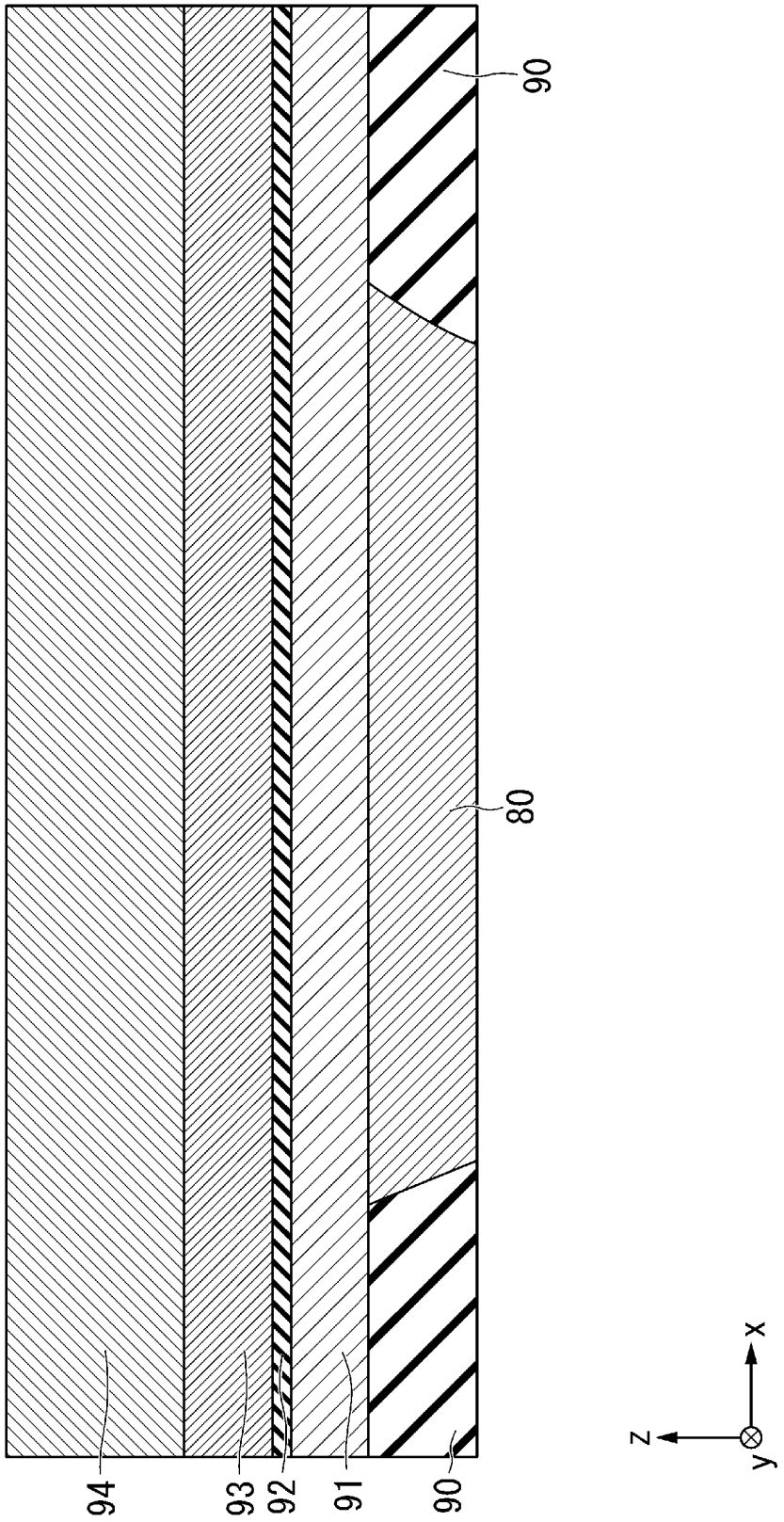
[図6]



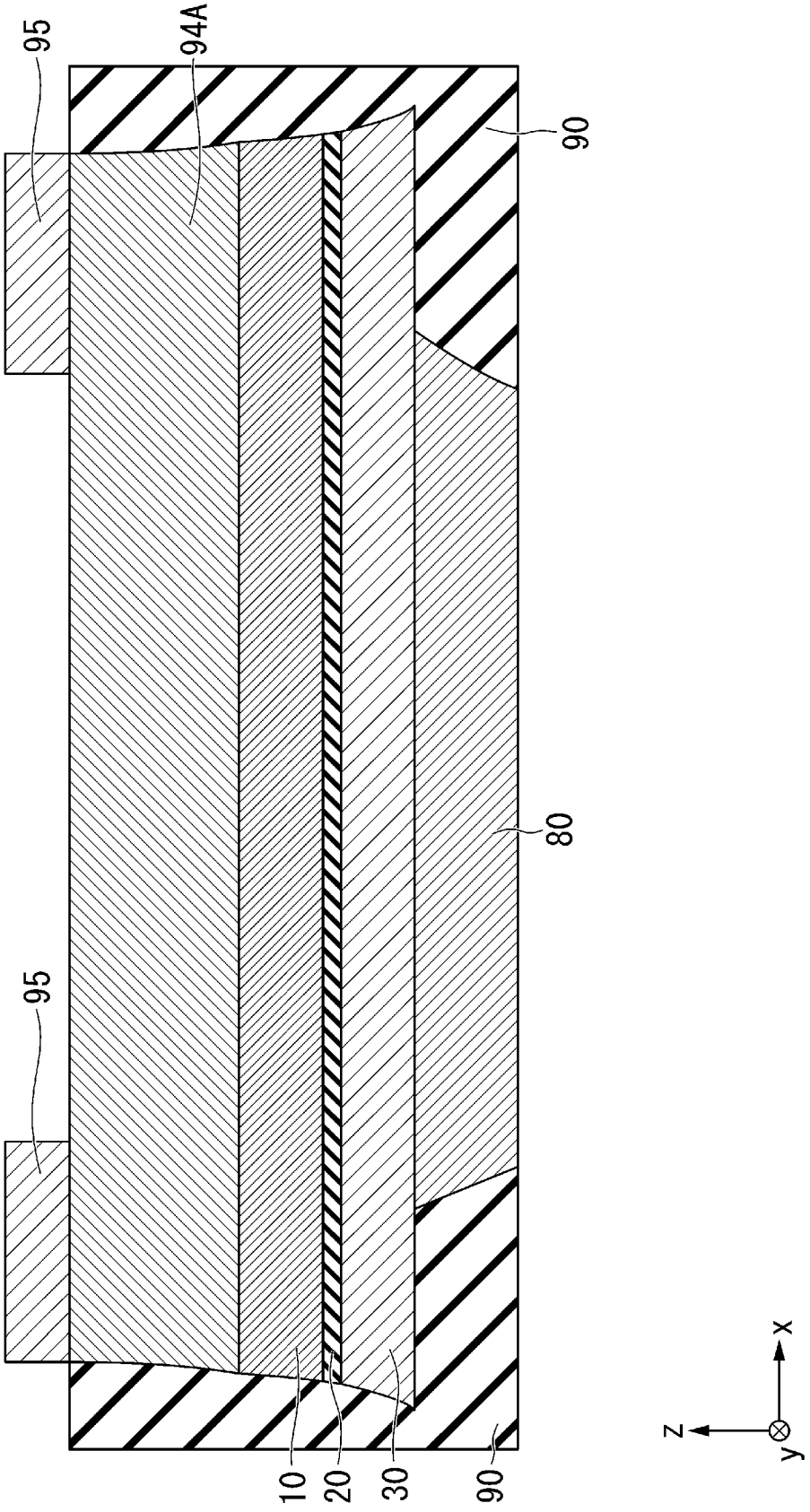
[図7]



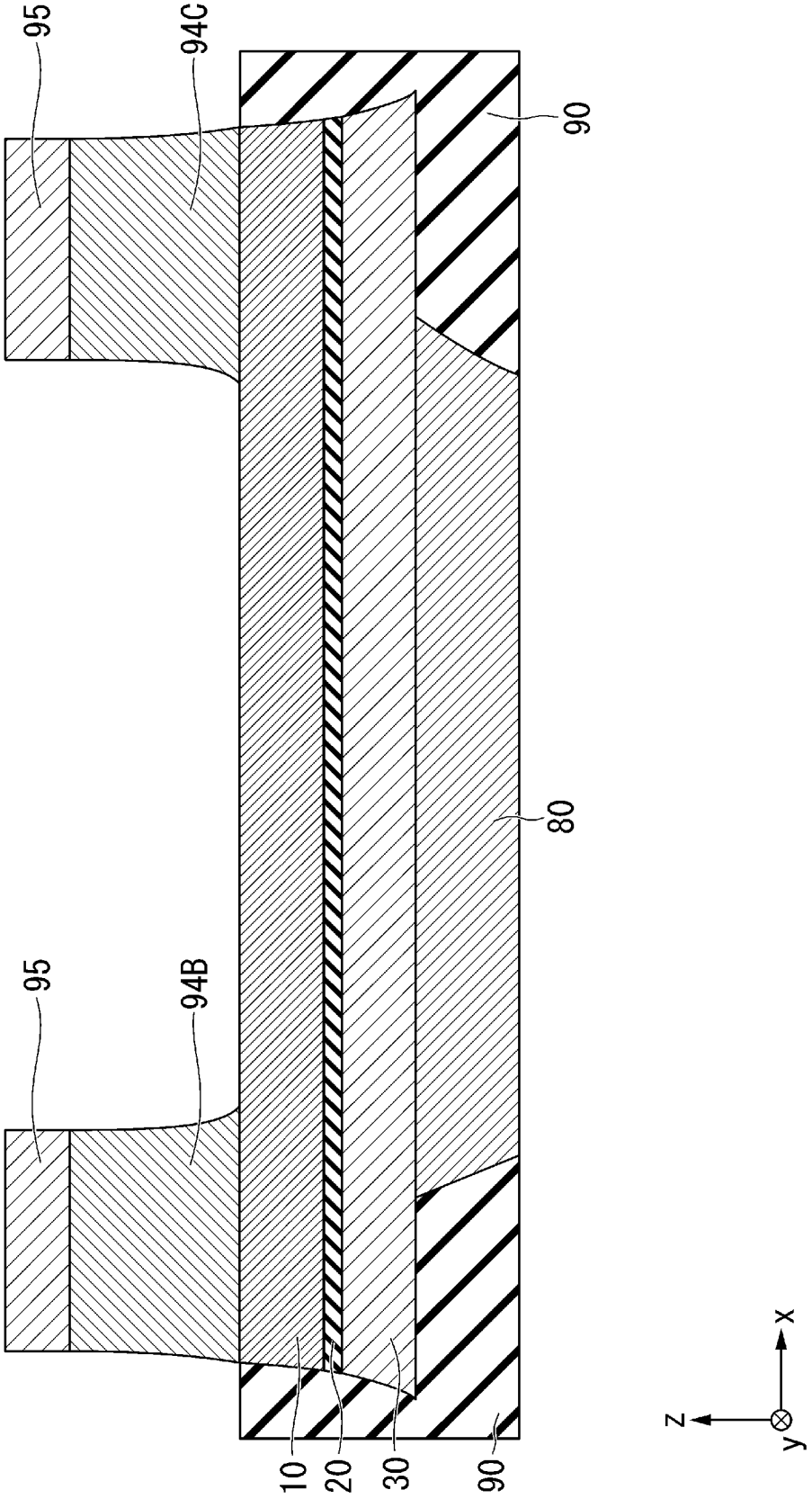
[図8]



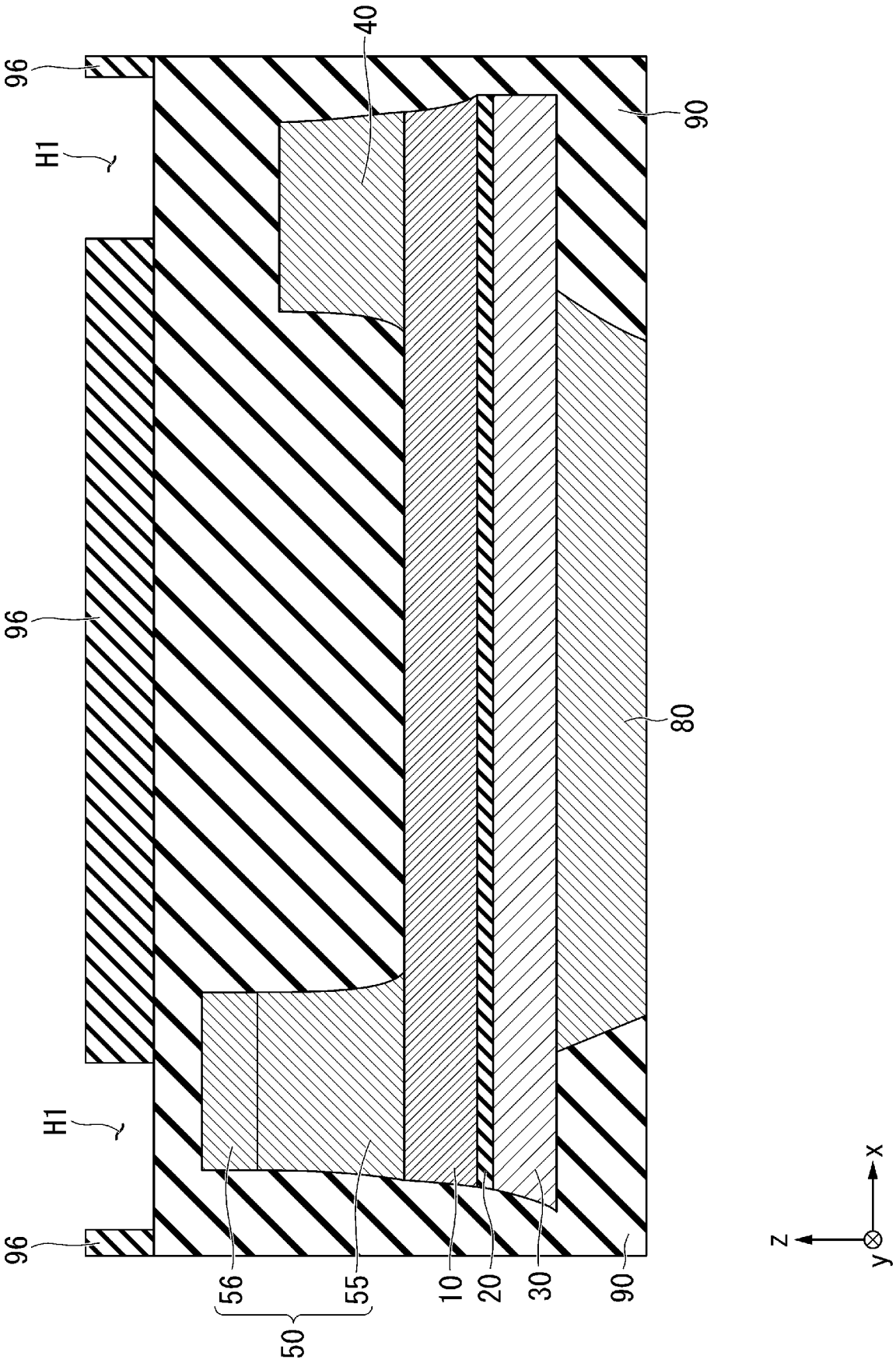
[図9]



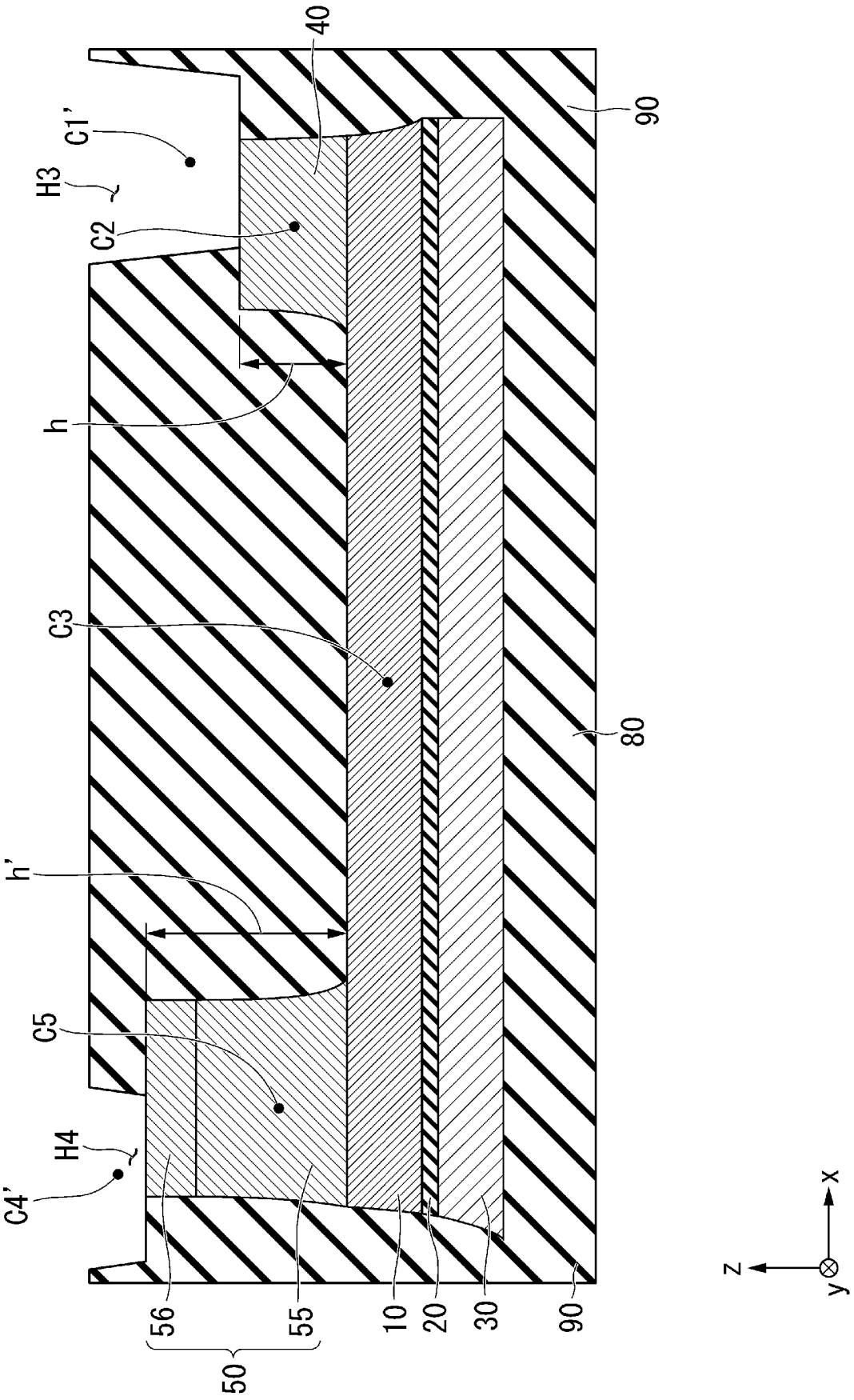
[図10]



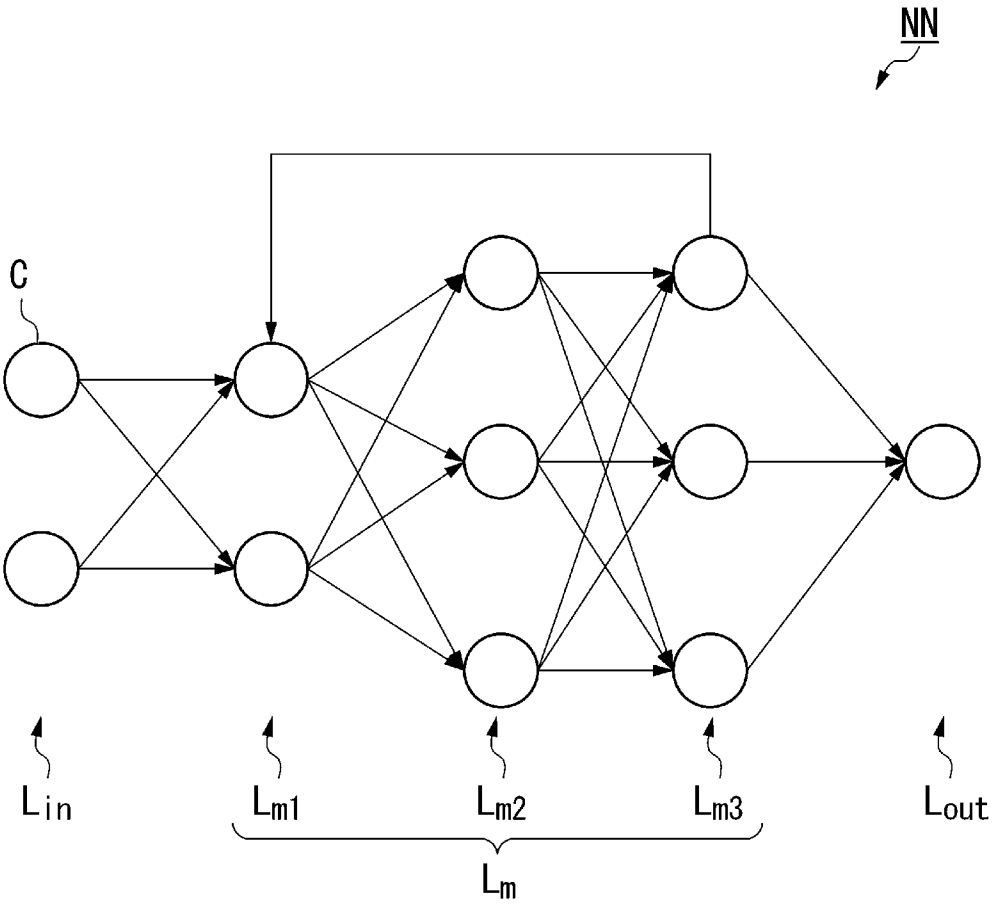
[図11]



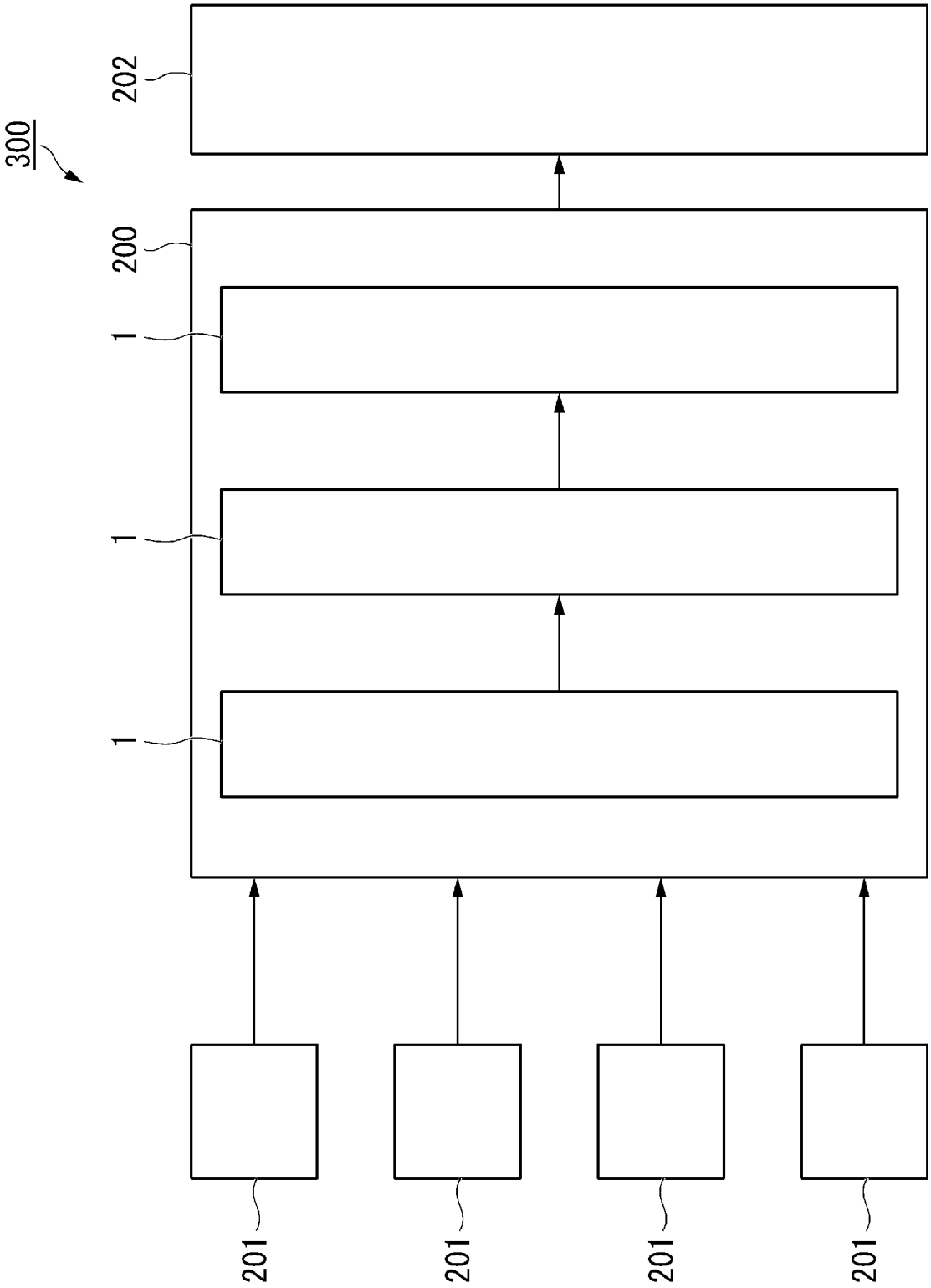
[図12]



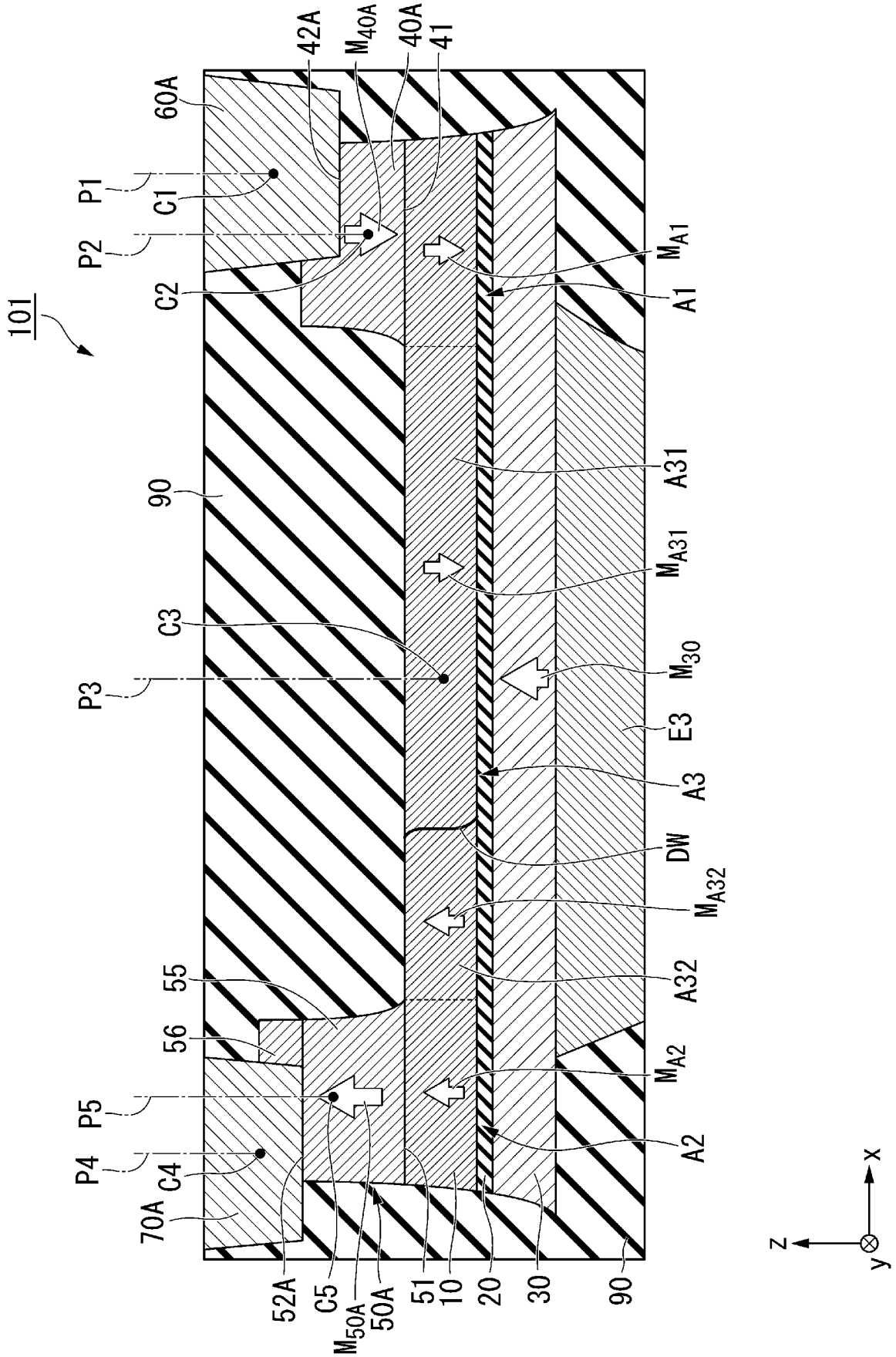
[図13]



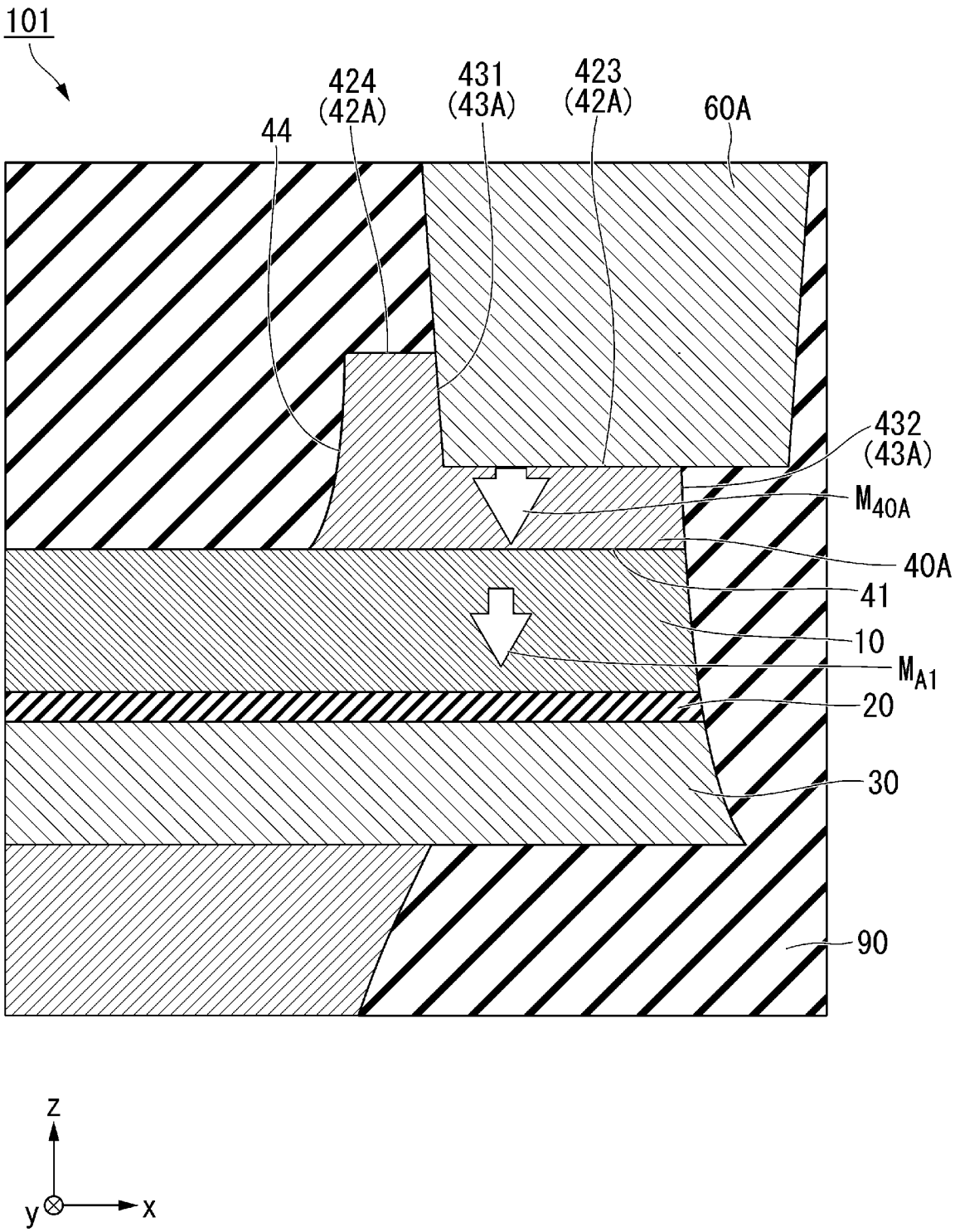
[図14]



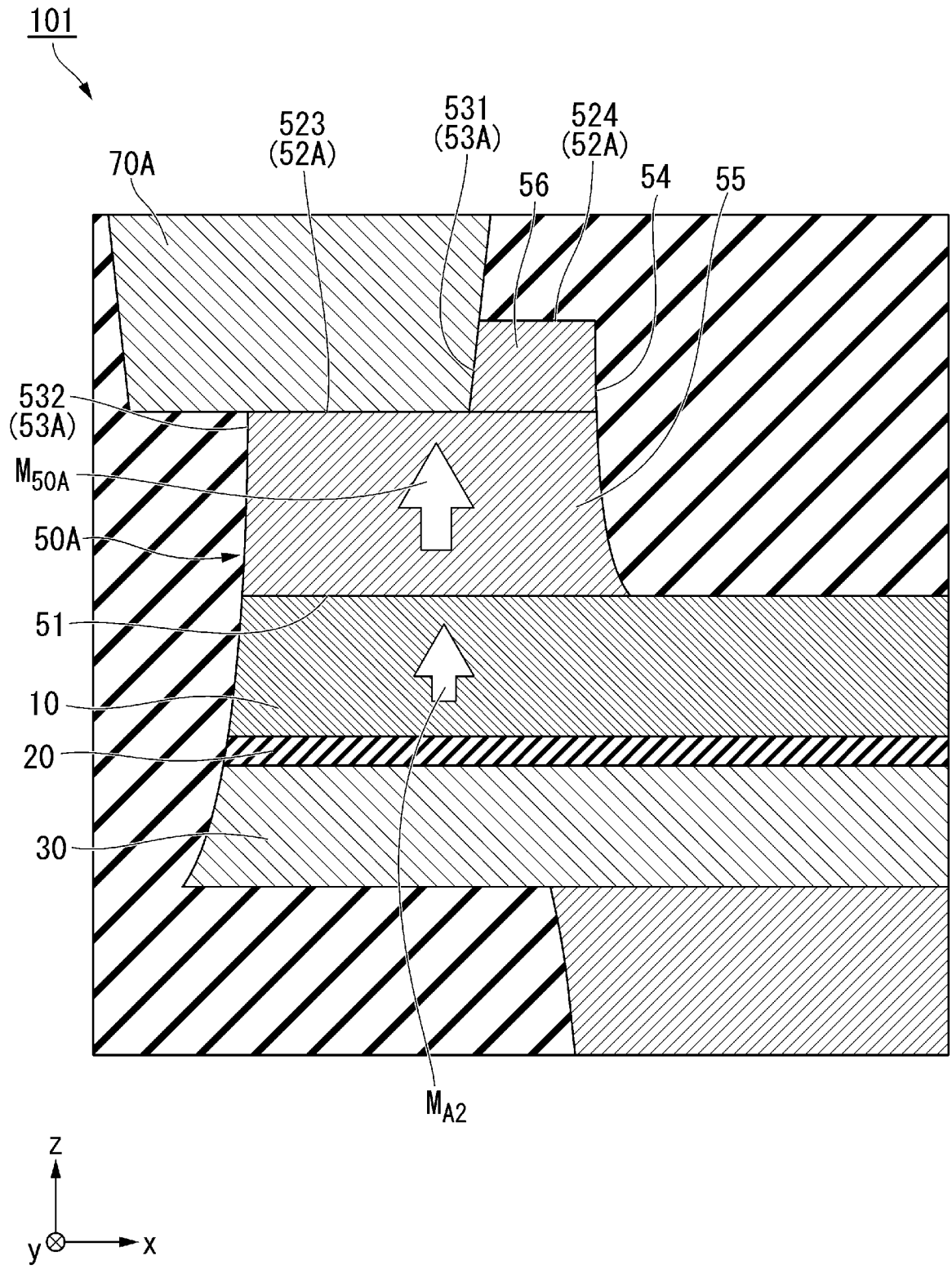
[図15]


101
60A
42A
M_{40A}
40A
41
P1
C1
P2
C2
M_{A1}
A1
A31
90
M_{A31}
C3
P3
M_{30}
E3
A3
DW
M_{A32}
55
A32
56
M_{A2}
P5
A2
P4
C4
70A
52A
C5
M_{50A}
50A
51
10
20
30
90
x
z
y

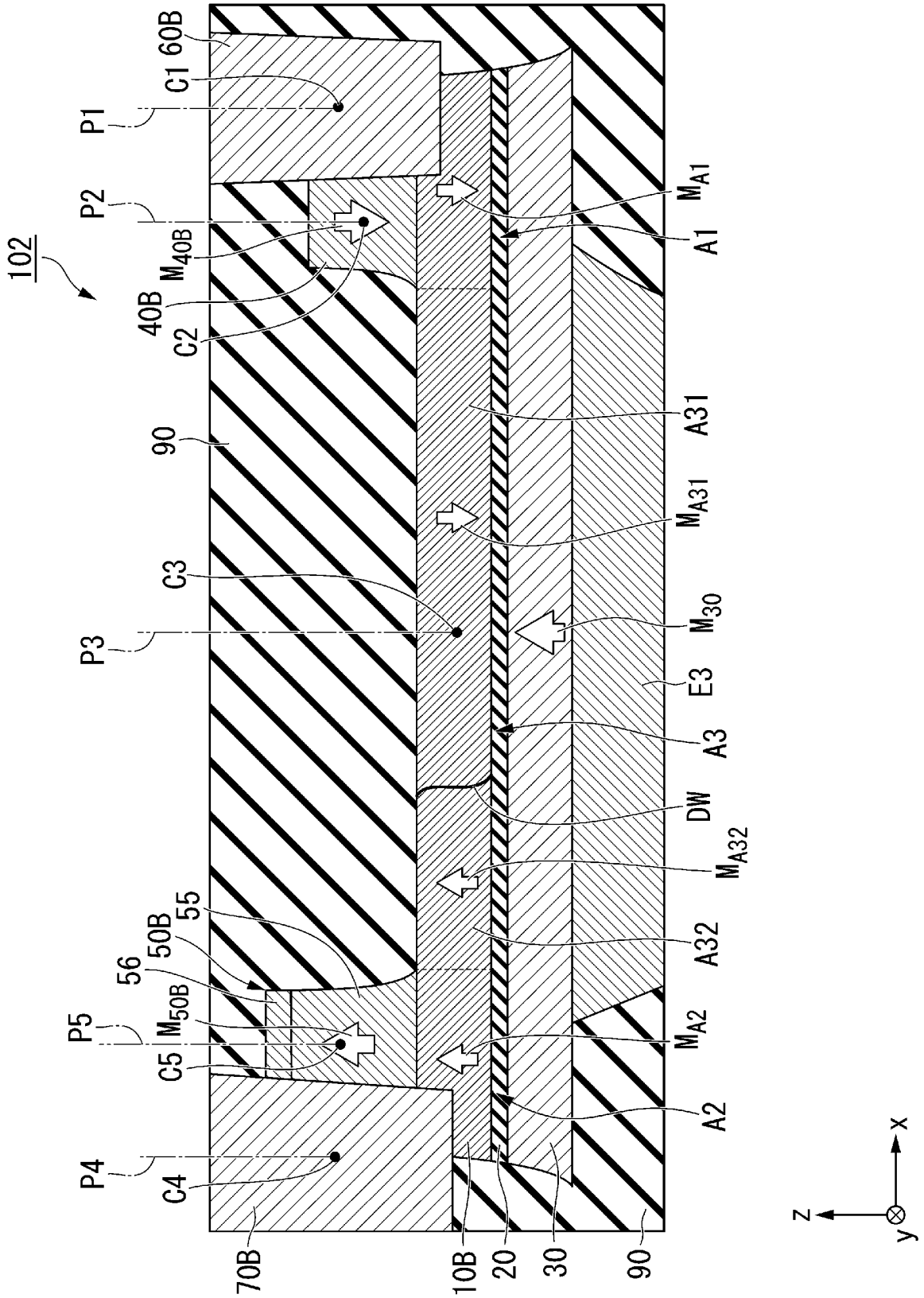
[図16]


101
424
(42A)
431
(43A)
423
(42A)
60A
44
432
(43A)
M_{40A}
40A
41
10
M_{A1}
20
30
90
z
y
x

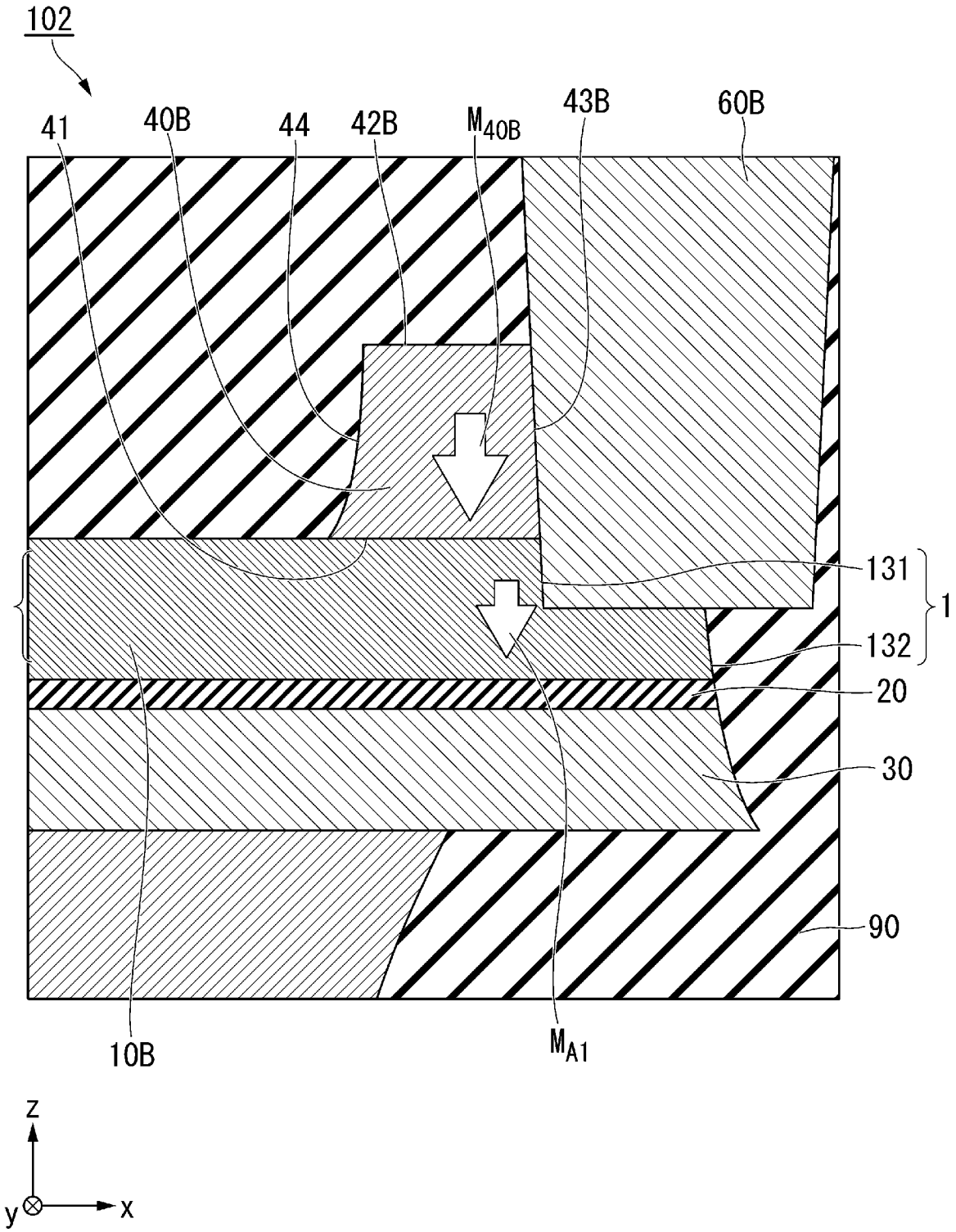
[図17]


101
523
(52A)
531
(53A)
524
(52A)
70A
56
54
55
532
(53A)
M_{50A}
50A
51
10
20
30
M_{A2}
z
y
x

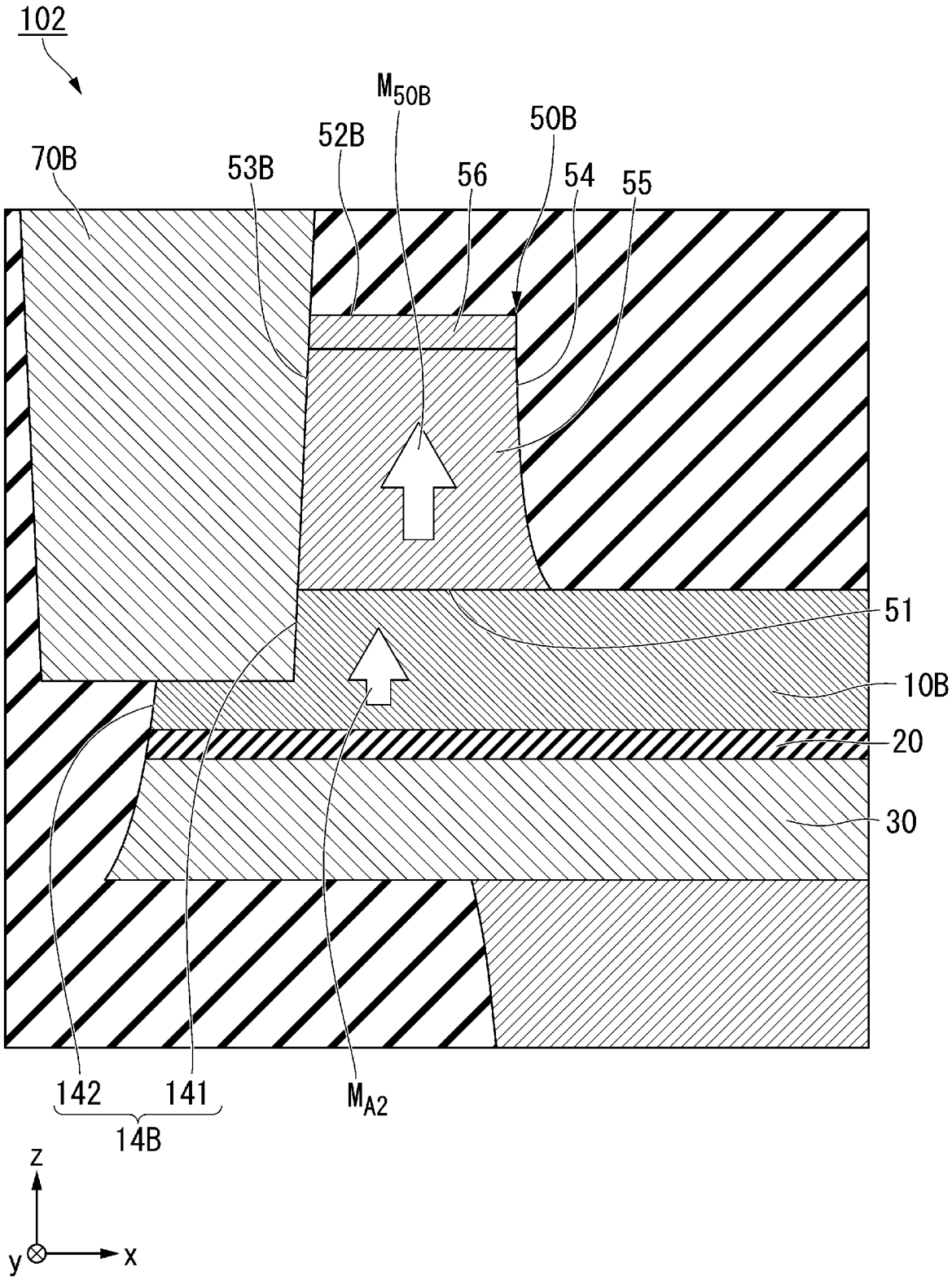
[図18]


102
60B
C1
P1
P2
M40B
40B
C2
90
C3
P3
50B
55
56
M50B
P5
C5
P4
C4
70B
10B
20
30
90
MA1
A1
A31
MA31
M30
E3
A3
DW
MA32
A32
MA2
A2
x
z
y

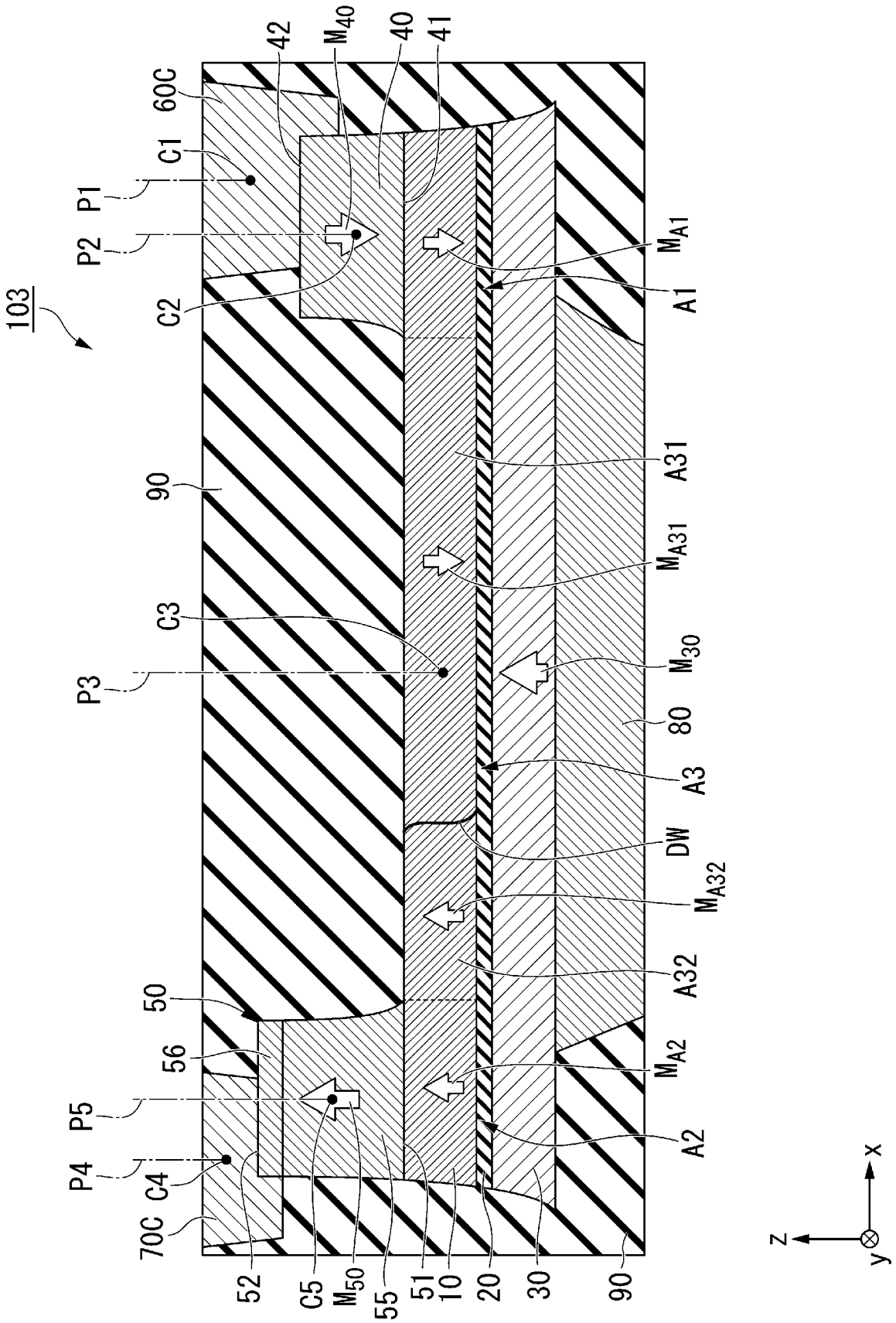
[図19]



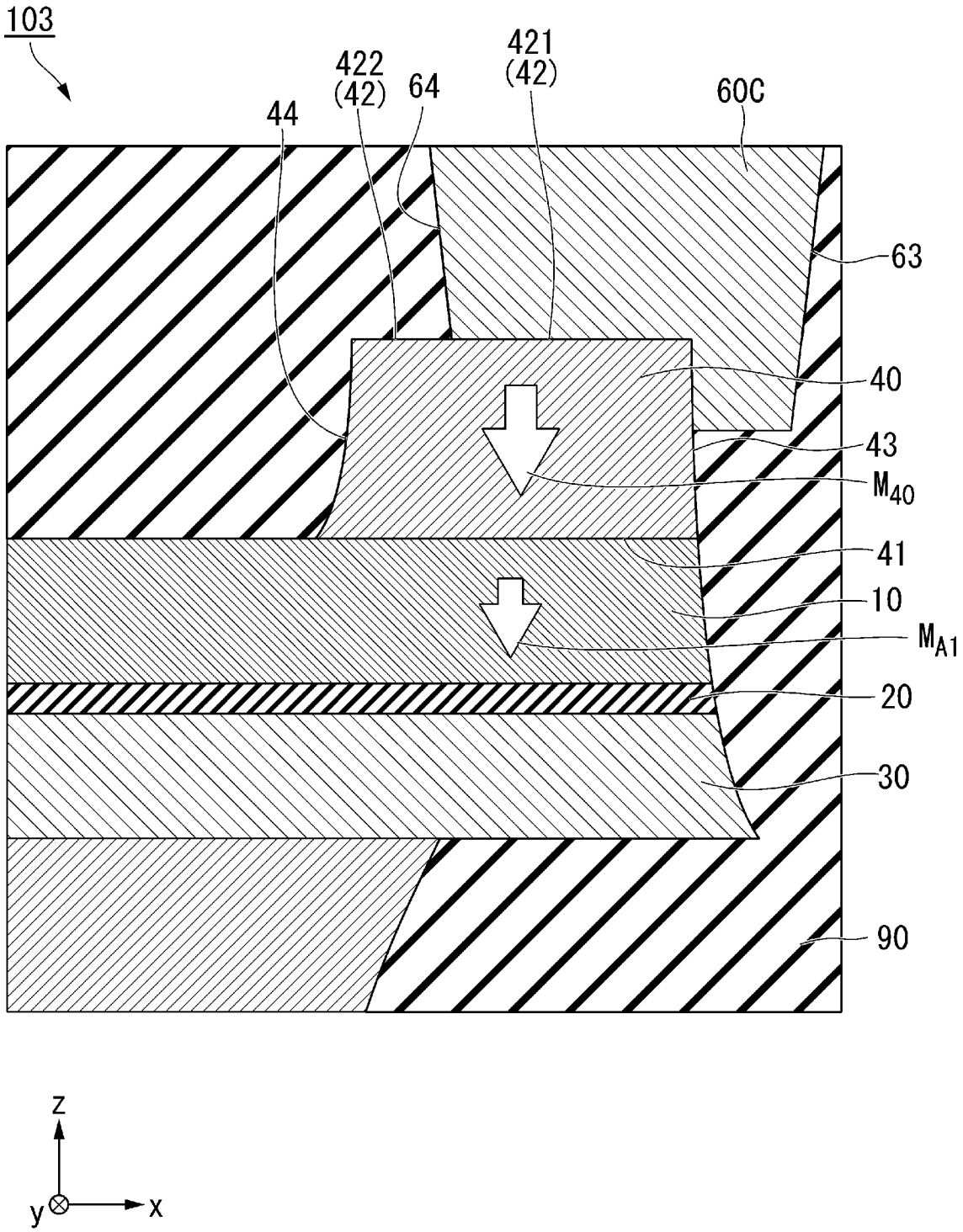
[図20]



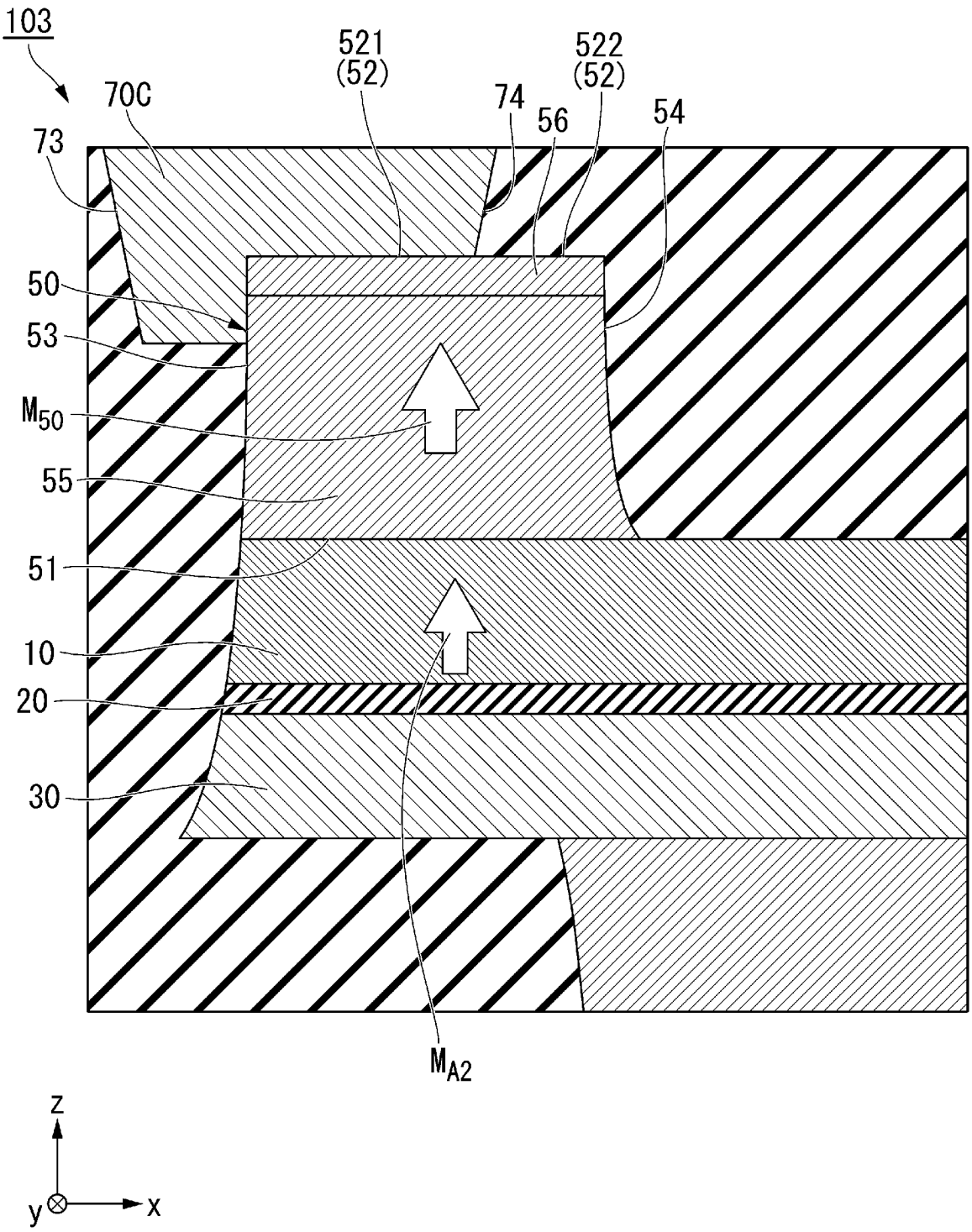
[図21]


103
42
M_{40}
40
41
60C
C1
P1
P2
C2
M_{A1}
A1
A31
90
M_{A31}
C3
P3
M_{30}
80
A3
DW
M_{A32}
A32
50
56
P5
M_{A2}
A2
P4
C4
70C
52
C5
M_{50}
55
51
10
20
30
90
x
z
y

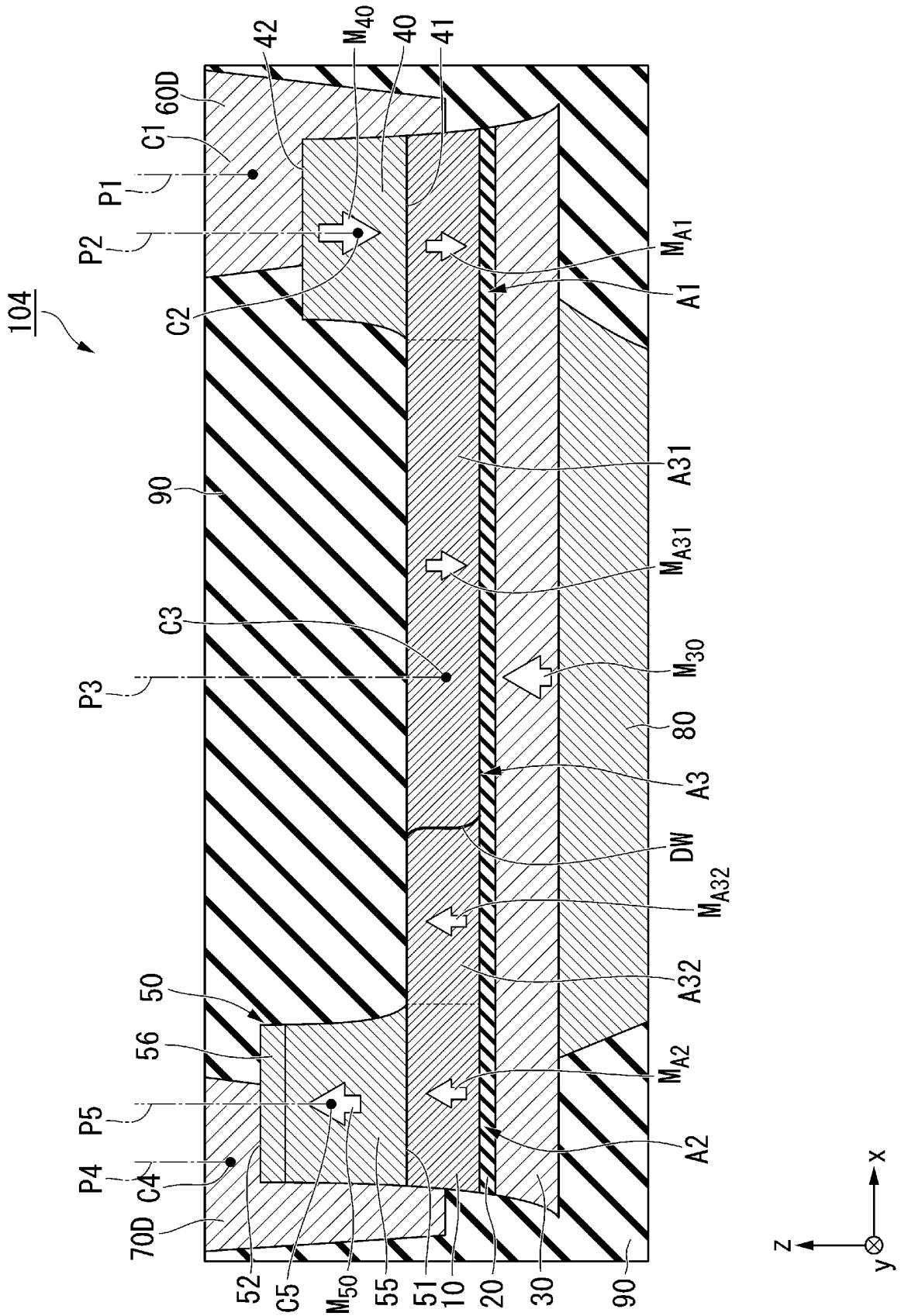
[図22]



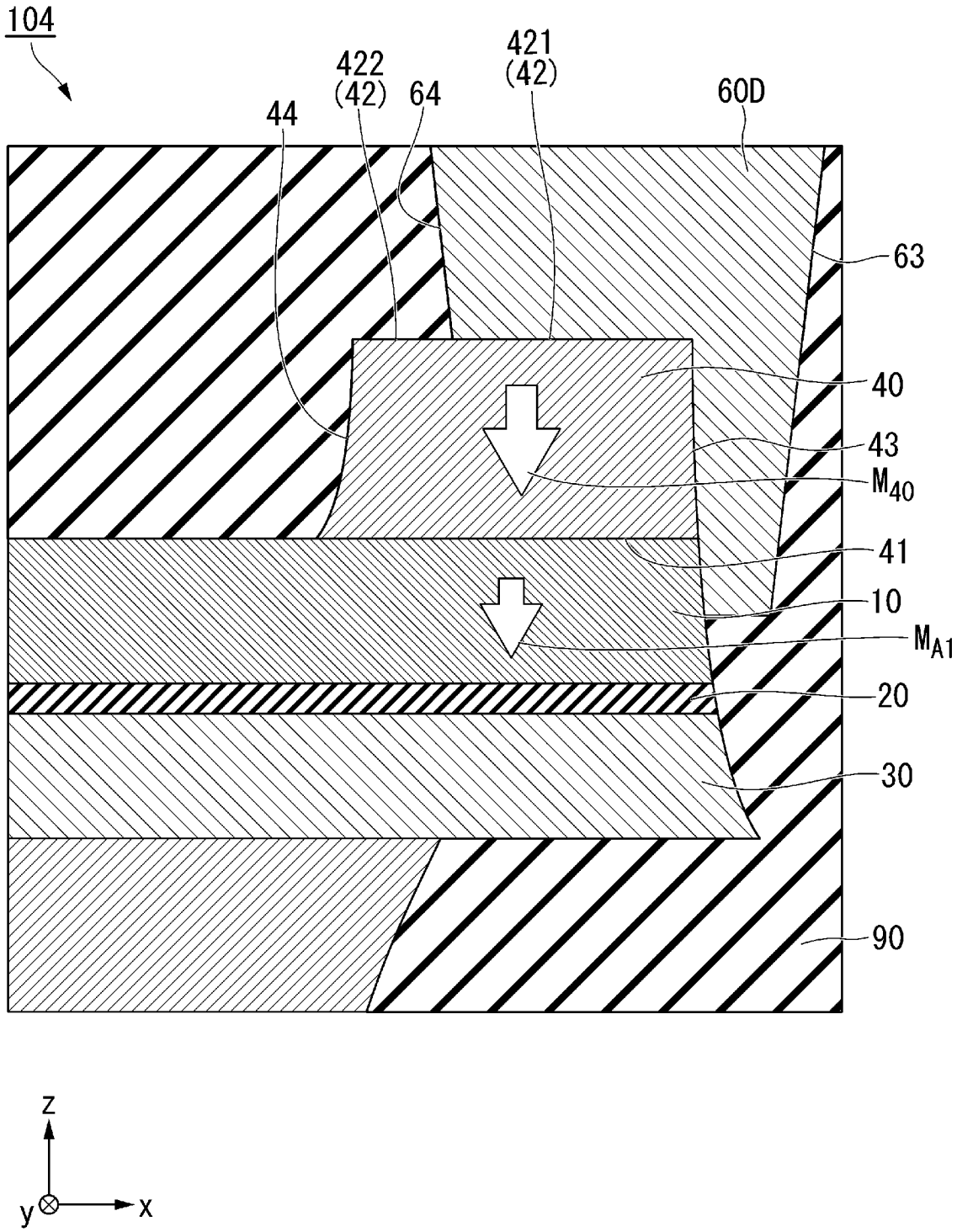
[図23]



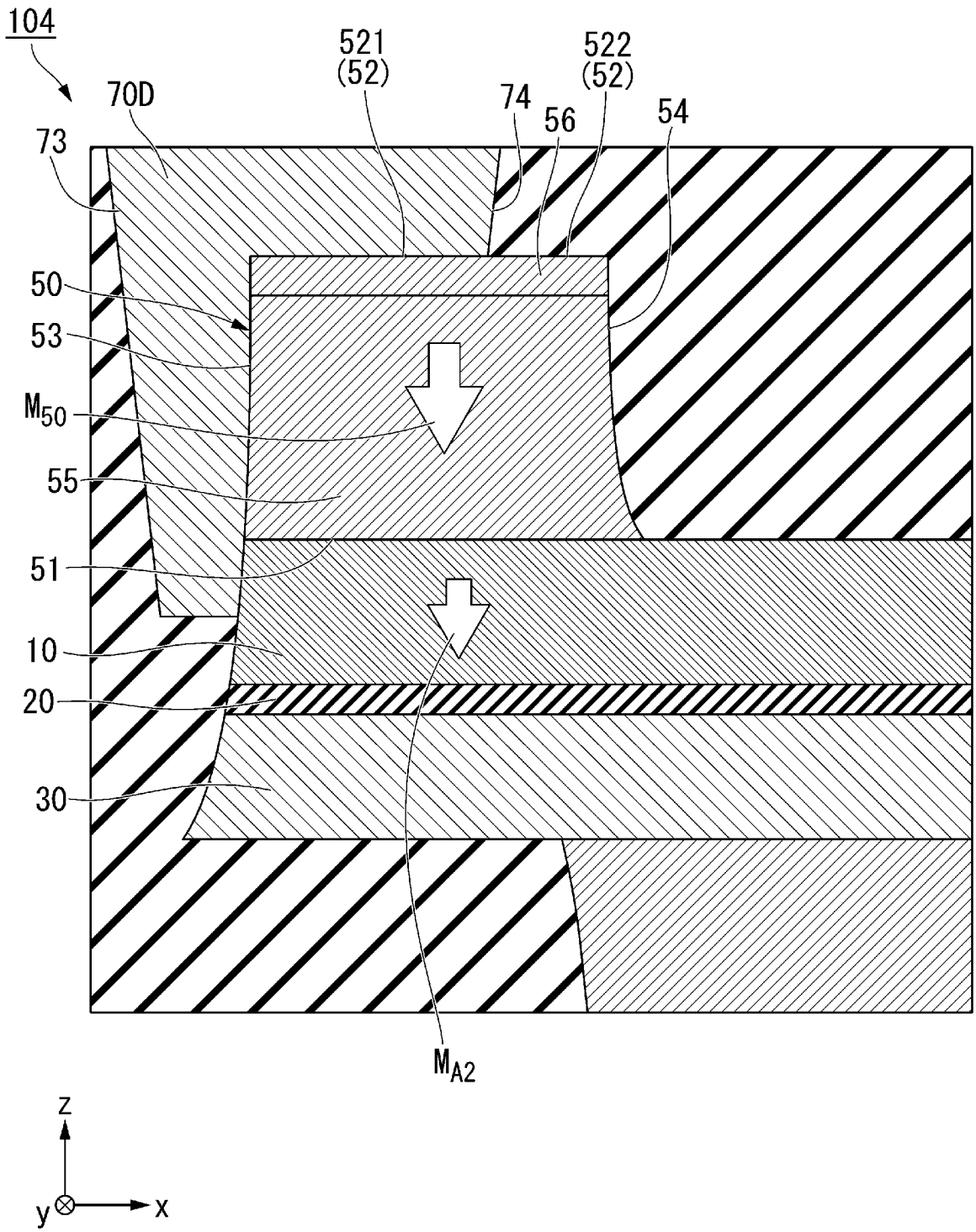
[図24]


104
42
M_{40}
40
41
60D
C1
P1
P2
C2
M_{A1}
A1
A31
M_{A31}
90
C3
P3
M_{30}
80
A3
DW
M_{A32}
A32
50
56
P5
M_{A2}
A2
P4
C4
70D
52
C5
M_{50}
55
51
10
20
30
90
x
z
y

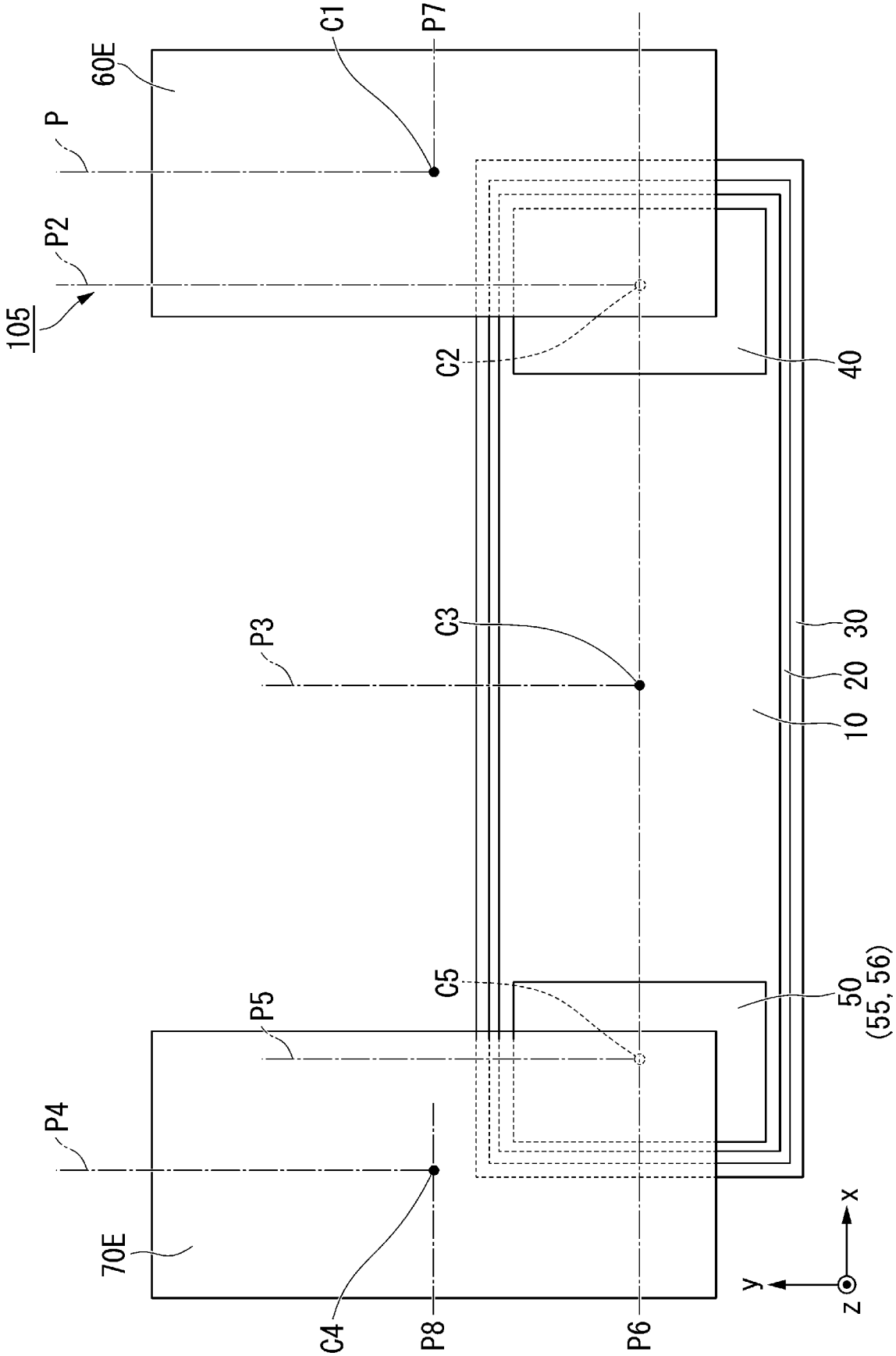
[図25]



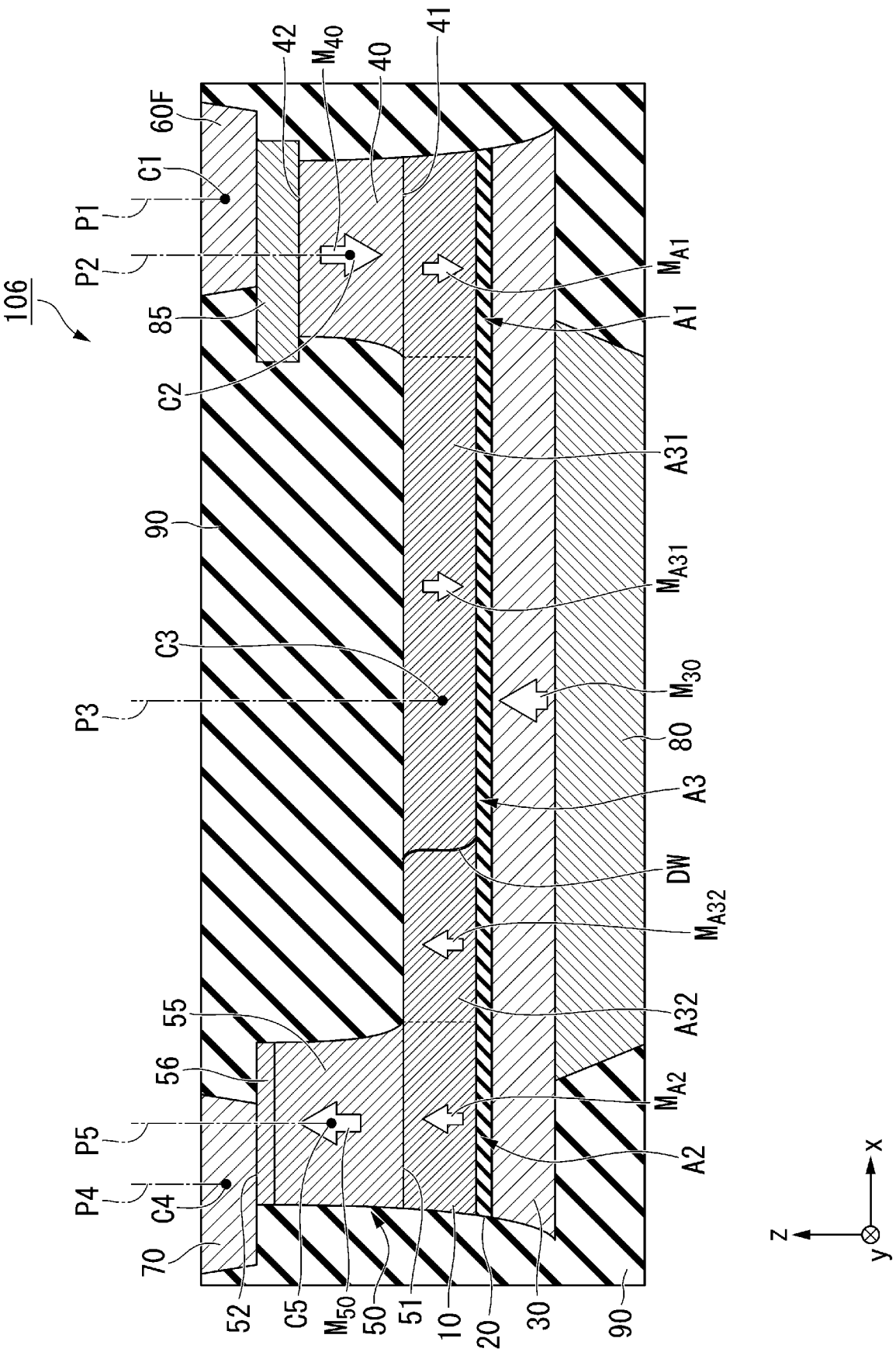
[図26]



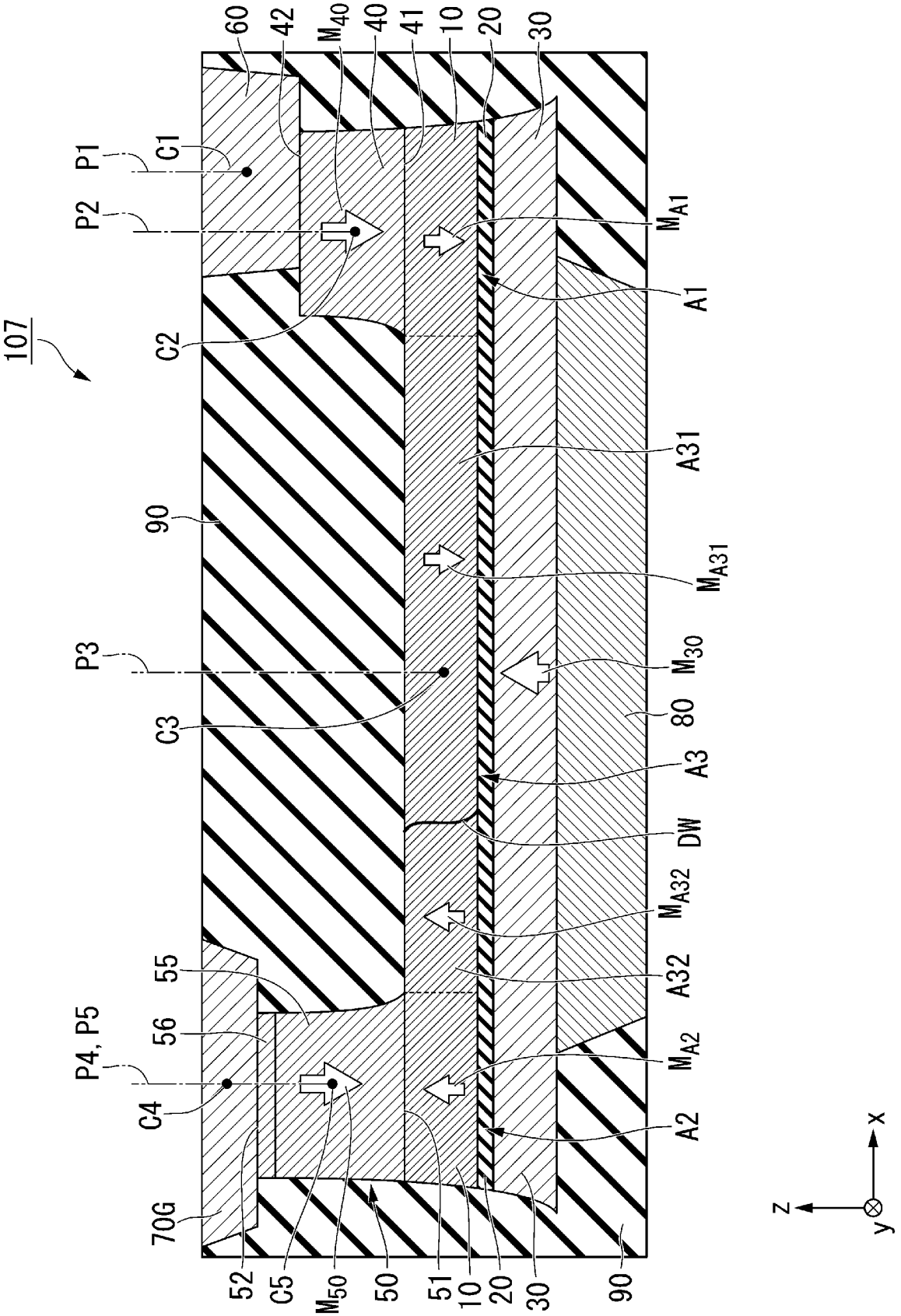
[図27]


C1
P7
60E
P
P2
105
C2
40
P3
C3
30
20
10
C5
50
(55, 56)
P5
P4
70E
C4
P8
P6
x
y
z

[図28]


106
42
M_{40}
40
41
60F
C1
P1
P2
85
C2
M_{A1}
A1
A31
90
M_{A31}
C3
P3
M_{30}
80
A3
DW
M_{A32}
55
A32
56
M_{A2}
P5
A2
P4
C4
70
52
C5
M_{50}
50
51
10
20
30
90
x
z
y

[図29]


107
P1
P2
P3
P4, P5
C1
C2
C3
C4
C5
60
42
M_{40}
40
41
10
20
30
M_{A1}
A1
A31
M_{A31}
M_{30}
80
A3
DW
M_{A32}
A32
M_{A2}
A2
90
55
56
70G
52
M_{50}
50
51
x
y
z

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/045294

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H10B 61/00(2023.01)i; ***H01L 29/82***(2006.01)i; ***H10N 50/20***(2023.01)i
FI: H10B61/00; H10N50/20; 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)

H10B61/00; H01L29/82; H10N50/20

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 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 2022-59565 A (TDK CORPORATION) 13 April 2022 (2022-04-13) paragraphs [0027], [0036], [0041], [0042], [0080], [0093], fig. 1-11	1, 2, 7-12
A		3-6, 13-18
Y	WO 2023/007609 A1 (TDK CORPORATION) 02 February 2023 (2023-02-02) paragraphs [0035], [0043], [0092], [0093], fig. 1-14	1, 2, 7-12
Y	WO 2022/185410 A1 (TDK CORPORATION) 09 September 2022 (2022-09-09) paragraph [0113], fig. 1-20	8
A	JP 2022-34728 A (TDK CORPORATION) 04 March 2022 (2022-03-04) paragraphs [0043]-[0098], fig. 1-15	1-18

☐ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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	Date of mailing of the international search report
08 February 2024	**20 February 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/045294

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2022-59565 A	13 April 2022	US 2022/0109102 A1 paragraphs [0037], [0046], [0051], [0052], [0092], [0105], fig. 1-11 WO 2022/070378 A1	
WO 2023/007609 A1	02 February 2023	(Family: none)	
WO 2022/185410 A1	09 September 2022	(Family: none)	
JP 2022-34728 A	04 March 2022	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/045294

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H10B 61/00(2023.01)i; H01L 29/82(2006.01)i; H10N 50/20(2023.01)i
FI: H10B61/00; H10N50/20; 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））

H10B61/00; H01L29/82; H10N50/20

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

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

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2022-59565 A (ＴＤＫ株式会社) 13.04.2022 (2022-04-13) 段落0027,0036,0041,0042,0080,0093,図1-11	1,2,7-12
A		3-6,13-18
Y	WO 2023/007609 A1 (ＴＤＫ株式会社) 02.02.2023 (2023-02-02) 段落0035,0043,0092,0093,図1-14	1,2,7-12
Y	WO 2022/185410 A1 (ＴＤＫ株式会社) 09.09.2022 (2022-09-09) 段落0113,図1-20	8
A	JP 2022-34728 A (ＴＤＫ株式会社) 04.03.2022 (2022-03-04) 段落0043-0098,図1-15	1-18

☐ 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
"D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
"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	国際調査報告の発送日
08.02.2024	20.02.2024

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/JP2023/045294

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2022-59565 A	13.04.2022	US 2022/0109102 A1 段落 0037,0046,0051,0052,0092,0105, 図1-11 WO 2022/070378 A1	
WO 2023/007609 A1	02.02.2023	（ファミリーなし）	
WO 2022/185410 A1	09.09.2022	（ファミリーなし）	
JP 2022-34728 A	04.03.2022	（ファミリーなし）	