(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8月29日(29.08.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/176297 A1

(51) 国際特許分類:
H10B 61/00 (2023.01) *H01L 29/82* (2006.01)
G11C 11/16 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/005968

(22) 国際出願日： 2023年2月20日(20.02.2023)

(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 Tokyo (JP).

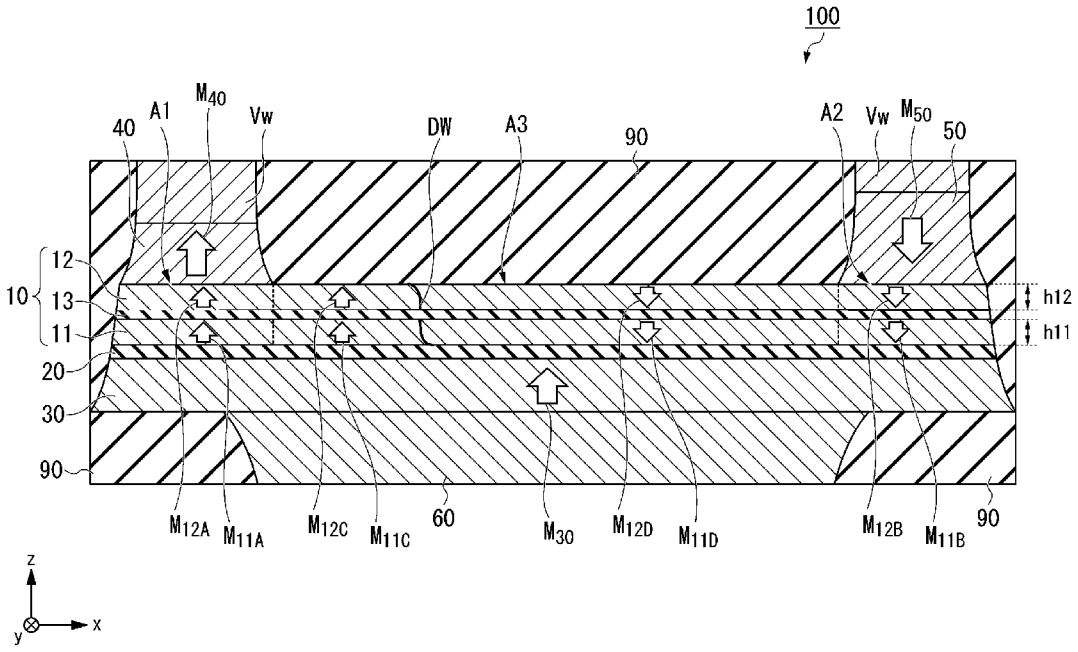
(72) 発明者：具志 俊希(**GUSHI Toshiki**)；〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 Tokyo (JP). 山田 章悟(**YAMADA Shogo**)；〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目５番１号 ＴＤＫ株式会社内 Tokyo (JP).

(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, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** DOMAIN WALL DISPLACEMENT ELEMENT AND MAGNETIC ARRAY

(54) 発明の名称： 磁壁移動素子及び磁気アレイ



(57) **Abstract:** This domain wall displacement element comprises a laminate provided with a first ferromagnetic layer, a second ferromagnetic layer, and a spacer layer sandwiched between the first and second ferromagnetic layers. At least one of the first and second ferromagnetic layers has a domain wall inside. The spacer layer has a non-magnetic first layer, and a non-magnetic second layer adjacent to the first layer. The first layer exhibits a negative spin Hall angle, and the second layer exhibits a positive spin Hall angle. A portion of a write current flows along either direction within the plane

WO 2024/176297 A1

［続葉有］

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))

of the spacer layer.

(57) 要約:この磁壁移動素子は、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強磁性層とに挟まれるスペーサ層と、を備える、積層体を備える。前記第１強磁性層と前記第２強磁性層とのうち少なくとも一方は、内部に磁壁を有する。前記スペーサ層は、非磁性の第１層と、前記第１層に隣接する非磁性の第２層と、を有する。前記第１層は、負のスピンホール角を示し、前記第２層は、正のスピンホール角を示す。書き込み電流の一部は、前記スペーサ層の面内のいずれかの方向に沿って流れる。

明　細　書

発明の名称 ： 磁壁移動素子及び磁気アレイ

技術分野

[0001]　本発明は、磁壁移動素子及び磁気アレイに関する。

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。

[0003]　磁壁移動素子は、例えば特許文献２に記載のように、脳の機能を模倣したニューロモーフィックデバイスに利用することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第５４４１００５号公報

特許文献2：特開２０２０－０５３６６０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005]　磁壁移動素子の磁壁は、強磁性層の磁化にトルクが加わり、強磁性層の磁化の一部が磁化反転することで移動する。スピントランスファートルク（ＳＴＴ）及びスピン軌道トルク（ＳＯＴ）は、強磁性層の磁化に加わるトルクの一例である。スピントランスファートルクは、磁壁と交差する方向に電流が流れることで生じる。スピン軌道トルクは、磁壁を有する強磁性層に隣接する層からスピンが注入されることで生じる。スピン軌道トルクは、外部磁場、環境温度等の影響を受けやすく、環境によって特性が変化しやすい。そのため、磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与が大きいと、磁壁移動素子の特性が環境に応じて変動しやすくなる。環境変化に伴う磁壁移動素子の

特性変化は、磁壁移動素子の信頼性を低下させる。

[0006] 本開示は上記問題に鑑みてなされたものであり、スピン軌道トルクによる磁化反転の寄与を少なくした磁壁移動素子及び磁気アレイ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、積層体を備える。積層体は、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強磁性層とに挟まれるスペーサ層と、を備える。前記第１強磁性層と前記第２強磁性層とのうち少なくとも一方は、内部に磁壁を有する。前記スペーサ層は、非磁性の第１層と、前記第１層に隣接する非磁性の第２層と、を有する。前記第１層は、負のスピンホール角を示し、前記第２層は、正のスピンホール角を示す。書き込み電流の一部は、前記スペーサ層の面内のいずれかの方向に沿って流れる。

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特徴部分の拡大図である。

[図7]第１実施形態に係る磁壁移動素子の特徴部分の拡大図の別の例である。

[図8]第１実施形態に係る磁壁移動素子の平面図の別の例である。

[図9]第２実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図10]第２実施形態に係る磁壁移動素子の特徴部分の拡大図である。

[図11]第２実施形態に係る磁壁移動素子の別の例の特徴部分の拡大図である。

[図12]第３実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

[図13]第３実施形態に係る磁壁移動素子の特徴部分の拡大図である。

[図14]二つの磁区の間に生じる磁壁における磁化の捻れ方の例を示す。

[図15]非磁性層と強磁性層との間に作用するジャロシンスキー・守屋相互作用の概念図である。

[図16]第３実施形態に係る磁壁移動素子の別の例の特徴部分の拡大図である。

[図17]第４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、本発明の特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、本発明の効果を奏する範囲で適宜変更して実施することが可能である。

[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、後述する積層体が延びる方向である。ｙ方向は、ｘ方向と直交する方向である。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。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、パルス印加装置３、抵抗検出装置４、出力部５を有する。

[0014] パルス印加装置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。パルス印加装置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、例えば、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、演算結果をパルス印加装置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、複数の第１配線ＷＬと、複数の第２配線ＣＬと、複数の第３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、を備える。第３スイッチング素子ＳＷ３は、例えば、周辺領域２のパルス印加装置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] 第１配線ＷＬのそれぞれは、書き込み配線である。第１配線ＷＬはそれぞれ、パルス印加装置３と１つ以上の磁壁移動素子１００とを電気的に接続する。第２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ことができる共通配線である。第２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。第２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。第３配線ＲＬのそれぞれは、読み出し配線である。第３配線ＲＬはそれぞれ、パルス印加装置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）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スイッチング素子ＳＷ１、第２スイッチング素子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スイッチング素子ＳＷ１は、例えば、磁壁移動素子１００と第１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、例えば、磁壁移動素子１００と第２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、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スイッチング素子ＳＷ３は、例えば、第３配線ＲＬに接続されている。

[0023] 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スイッチング素子ＳＷ１は、複数の磁壁移動素子１００に亘って接続され、第１配線ＷＬの上流に位置してもよい。また例えば、第２スイッチング素子ＳＷ２は、複数の磁壁移動素子１００に亘って接続され、第２配線ＣＬの上流に位置してもよい。また例えば、第３スイッチング素子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を積層体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スイッチング素子ＳＷ１及び第２スイッチング素子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スイッチング素子ＳＷ３は、第３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、第１配線ＷＬ、第２配線ＣＬ、第３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を積層体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、積層体１０と非磁性層２０と参照層３０と磁化固定層４０と磁化固定層５０と電極６０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] 積層体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。積層体１０は、例えば、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とスペーサ層１３とを備える。第１強磁性層１１の磁化は、第２強磁性層１２の磁化と磁気結合している。そのため、積層体１０は、全体で一つの強磁性層とみなすこともできる。

[0031] 積層体１０は、２つの異なる磁区を有し、２つの磁区の境界に磁壁ＤＷを有する。磁壁ＤＷは、積層体１０内部をｘ方向に移動する。積層体１０は、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。積層体１０は、磁壁移動層、アナログ層、自由層、磁気記録層とも言われる。

[0032] 積層体１０は、第１領域Ａ１と第２領域Ａ２と第３領域Ａ３を有する。積

層体１０は、ｘ方向に、磁壁ＤＷが移動可能な磁壁移動領域と、磁化が固定された磁化固定領域と、を含む。

[0033] 第１領域Ａ１は、磁化の配向方向が一方向に固定された領域である。第１領域Ａ１は、磁化固定領域の一例である。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領域Ａ１は、例えば、積層体１０のうちｚ方向からみて磁化固定層４０と重なる領域である。第１領域Ａ１の磁化は、例えば、磁化固定層４０の磁化M_{40}によって固定されている。

[0034] 第２領域Ａ２は、磁化の配向方向が一方向に固定された領域である。第２領域Ａ２は、磁化固定領域の一例である。第２領域Ａ２の磁化の配向方向は、第１領域Ａ１の磁化の配向方向と異なる。第２領域Ａ２の磁化の配向方向は、例えば、第１領域Ａ１の磁化の配向方向と反対である。第２領域Ａ２は、例えば、積層体１０のうちｚ方向からみて磁化固定層５０と重なる領域である。第２領域Ａ２の磁化は、例えば、磁化固定層５０の磁化M_{50}によって固定されている。

[0035] 第３領域Ａ３は、積層体１０の第１領域Ａ１及び第２領域Ａ２以外の領域である。第３領域Ａ３は、例えば、ｘ方向に第１領域Ａ１と第２領域Ａ２とに挟まれる領域である。

[0036] 第３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領域Ａ３は、磁壁移動可能領域の一例である。第３領域Ａ３は、第１磁区と第２磁区とを有する。第１磁区と第２磁区とは、磁化の配向方向が反対である。第１磁区と第２磁区との境界が磁壁ＤＷである。磁化M_{11A}、磁化M_{12A}、磁化M_{11C}、磁化M_{12C}は、例えば、第１磁区に属する。磁化M_{11B}、磁化M_{12B}、磁化M_{11D}、磁化M_{12D}は、例えば、第２磁区に属する。磁壁ＤＷは、原則、第３領域Ａ３内を移動し、第１領域Ａ１及び第２領域Ａ２には侵入しない。

[0037] 第３領域Ａ３内における第１磁区と第２磁区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、例えば、第３領域Ａ３のｘ方向に書き

込み電流を流すことで移動する。

[0038] 第１強磁性層１１及び第２強磁性層１２は、磁性体を含む。第１強磁性層１１は、例えば、第２強磁性層１２より非磁性層２０の近くにある。

[0039] 第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とのうち少なくとも一方は、内部に磁壁ＤＷを有する。第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とは、いずれも内部に磁壁ＤＷを有してもよい。例えば、第１強磁性層１１は、内部に磁壁ＤＷを有し、磁壁ＤＷが移動可能な磁壁移動領域と、磁化が固定された磁化固定領域と、を含んでもよい。また例えば、第２強磁性層１２は、内部に磁壁ＤＷを有し、磁壁ＤＷが移動可能な磁壁移動領域と、磁化が固定された磁化固定領域と、を含んでもよい。上述のように、磁壁移動領域は、第３領域Ａ３に属する部分であり、磁化固定領域は、第１領域Ａ１又は第２領域Ａ２に属する部分である。

[0040] 第１強磁性層１１の磁化は、第２強磁性層１２の磁化と磁気結合している。第１強磁性層１１は、第２強磁性層１２の磁気状態を反映する。第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とが強磁性カップリングする場合は、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とは磁気状態が同一になり、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とが反強磁性カップリングする場合は、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とは磁気状態が反対になる。

[0041] 第１強磁性層１１及び第２強磁性層１２は、例えば、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。

[0042] 第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とは、構成材料が同じでもよいし、構成材料が異なってもよい。第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とは求められる機能が異なるため、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とは、構成材料が異なることが好ましい。

[0043] 第１強磁性層１１は、参照層３０と共に非磁性層２０を挟む。磁壁移動素子１００の磁気抵抗変化は、非磁性層２０を挟む２つの強磁性層の磁化の相対角の変化することで生じる。第１強磁性層１１は、第２強磁性層１２より

磁壁移動素子１００のＭＲ比に与える影響が大きい。そのため、第１強磁性層１１は、磁壁移動素子１００のＭＲ比を高くすることができる材料が求められる。第１強磁性層１１は、例えば、ＣｏＦｅＢである。

[0044] 第２強磁性層１２は、第１強磁性層１１より磁壁移動素子１００のＭＲ比に与える影響が小さい。そのため、第２強磁性層１２には、磁壁ＤＷの移動を制御しやすい材料を選択できる。第２強磁性層１２は、例えば、ＣｏとＮｉの積層膜、ＣｏとＰｔの積層膜、ＣｏとＰｄの積層膜、ＭｎＧａ系材料、ＧｄＣｏ系材料、ＴｂＣｏ系材料等である。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。

[0045] 第１強磁性層１１の膜厚ｈ１１と第２強磁性層１２の膜厚ｈ１２は、同じでも、異なってもよい。例えば、第２強磁性層１２の膜厚ｈ１２は、第１強磁性層１１の膜厚ｈ１１より厚くてもよい。スピン軌道トルクは、隣接する層との界面からスピンが注入されることで生じる。第２強磁性層１２の膜厚ｈ１２が厚いと、第２強磁性層１２の磁化反転におけるスピン軌道トルクの寄与が小さくなる。上記のように、第１強磁性層１１に磁壁移動素子１００のＭＲ比を高くする材料を選択し、第２強磁性層１２に磁壁ＤＷの移動を制御しやすい材料を選択した場合、第２強磁性層１２は、第１強磁性層１１より磁壁ＤＷの移動に与える影響が大きい。つまり、第２強磁性層１２の膜厚ｈ１２が厚いと、磁壁ＤＷの移動に対するスピン軌道トルクの寄与が小さくなる。

[0046] スペーサ層１３は、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２との間にある。スペーサ層１３は、第１強磁性層１１と第２強磁性層１２とを磁気的にカップリングする。スペーサ層１３は、磁気結合層、中間層とも呼ばれる。スペーサ層１３は、非磁性体を含む。スペーサ層１３の厚みは、例えば、２ｎｍ以下であり、好ましくは１ｎｍ以下である。

[0047] 図６は、第１実施形態に係る磁壁移動素子の特徴部分の拡大図である。スペーサ層１３は、例えば、第１層１４と第２層１５とを有する。第１層１４と第２層１５は、互いに隣接する。第１層１４と第２層１５は、いずれも非磁性層である。

[0048] 第１層１４は、負のスピンホール角を示し、第２層１５は、正のスピンホール角を示す。第１層１４と第２層１５の位置関係は、逆転してもよい。第１層１４と第２層１５とは、スピンホール角の符号（極性）が異なる。「スピンホール角」は、スピンホール効果の強さの指標の一つであり、書き込み電流に対するスピン流の変換効率を示す。スピンホール角の符号（極性）は、値の正負を意味し、“＋”又は“－”である。書き込み電流の一部は、少なくともスペーサ層１３に沿って流れる。書き込み電流は、スペーサ層１３の他に、第１強磁性層１１及び第２強磁性層１２にも流れる。書き込み電流は、第１強磁性層１１、第２強磁性層１２及びスペーサ層１３に並列に流れる。

[0049] 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。

[0050] 例えば、第１層１４に沿って書き込み電流が流れると、第１層１４の第１面１４Ａには、例えば＋ｙ方向に配向したスピンｓｐが偏在し、第２面１４Ｂには、－ｙ方向に配向したスピンｓｐが偏在する。また例えば、第２層１５に沿って書き込み電流が流れると、第２層１５の第１面１５Ａには、例えば－ｙ方向に配向したスピンｓｐが偏在し、第２面１５Ｂには、＋ｙ方向に配向したスピンｓｐが偏在する。スピン流は、これらのスピンの偏在（スピン分極）を解消するように、ｚ方向に生じる。スピンホール角の極性が異な

ると、第１面と第２面のそれぞれに偏在するスピンの正負が反転する。

[0051] 第１層１４と第２層１５とは、スピンホール角の符号が異なる。そのため、スペーサ層１３全体で考えた場合、第１層１４で生じるスピン流と、第２層１５で生じるスピン流とは互いに打ち消し合う。その結果、第１強磁性層１１又は第２強磁性層１２に注入されるスピンの量が減る。つまり、第１層１４と第２層１５のスピンホール角の符号が異なると、第１強磁性層１１又は第２強磁性層１２の磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与が少なくなる。

[0052] スピンホール角の符号は、層の電子状態によって決まるため、層を構成する材料、層の厚み、隣接する材料等で変化する。例えば、層を構成する材料は合金のような複数の元素が固溶することによって符号が変化することもあれば、酸化や窒化、炭化などの化合物化することによって極性が変化することもある。また、異なる材料を積層することによって巨視的に電子状態を変えることによって符号が変化することもある。更に、層の厚みによってスピンホール角の符号が変化する場合もある。

[0053] スペーサ層１３は、例えば、Ｍｇ、Ａｕ、Ａｌ、Ｈｆ、Ｔａ、Ｗ、Ｍｏ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ｃｕ、Ｒｕ、Ｉｒからなる群から選択されるいずれかの原子を含む。

[0054] 第１層１４は、例えば、第３族、第４族、第５族及び第６族のいずれかに属する原子を含む。第１層１４は、例えば、第３族、第４族、第５族及び第６族のいずれかに属する金属元素を主として含む。「主として」とは、これらの金属元素の含有率が５０ａｔｍ％以上であることを示す。スピンホール角の符号は、材料のみによって決定されるものではないが、第１層１４がこれらの材料を含むと、第１層１４は負のスピンホール角を示しやすくなる。第１層１４は、例えば、Ｔａである。

[0055] また第１層１４は、酸素、窒素、炭素のいずれかを含んでもよい。第１層１４は、例えば、第３族、第４族、第５族及び第６族のいずれかに属する金属の酸化物、窒化物、炭化物のいずれかでもよい。例えば、第１層１４は、

窒化タンタル（ＴａＮ）でもよい。

[0056] 第２層１５は、例えば、第８族、第９族、第１０族、第１１族及び第１２族のいずれかに属する原子を含む。第２層１５は、例えば、第８族、第９族、第１０族、第１１族及び第１２族のいずれかに属する原子を主として含む。スピンホール角の符号は、材料のみによって決定されるものではないが、第２層１５がこれらの材料を含むと、第２層１５は正のスピンホール角を示しやすくなる。第２層１５は、例えば、Ｐｔである。

[0057] また第２層１５は、酸素、窒素、炭素のいずれかを含んでもよい。第２層１５は、例えば、第８族、第９族、第１０族、第１１族及び第１２族のいずれかに属する金属の酸化物、窒化物、炭化物のいずれかでもよい。

[0058] 第１層１４の膜厚は、第２層１５の膜厚と同じでも異なってもよい。図７は、第１実施形態に係る磁壁移動素子の特徴部分の別の例の拡大図である。図７に示す第２層１５の膜厚ｈ１５は、第１層１４の膜厚ｈ１４より厚い。

[0059] 例えば、第１層１４と第２層１５とのうちスピンホール角の絶対値が大きい方の層の膜厚は、第１層１４と第２層１５とのうちスピンホール角の絶対値が小さい方の層の膜厚より薄いことが好ましい。例えば、図７に示す第２層１５は、第１層１４よりスピンホール角の絶対値が小さい。スピンホール角の絶対値が大きいほど、スピンホール効果は強く生じる。スピンホール角の絶対値と、第１層１４及び第２層１５の膜厚との関係が上記関係を満たすと、それぞれの層で生じたスピン流同士が打ち消し合い、スペーサ層１３内で実効的に生じるスピン流を低減できる。

[0060] また例えば、第１層１４と第２層１５とのうち抵抗率が大きい方の層の膜厚は、第１層１４と第２層１５とのうち抵抗率が小さい方の層の膜厚の膜厚より厚いことが好ましい。例えば、図７に示す第２層１５は、第１層１４より抵抗率が大きい。第１層１４及び第２層１５の膜厚と抵抗率との関係が上記関係を満たすと、書き込み電流の第１層１４と第２層とに対する分流比が同程度となり、スペーサ層１３内で実効的に生じるスピン流を低減できる。

[0061] 第１層１４及び第２層１５のそれぞれの膜厚は、例えば、０．１ｎｍ以上

２０ｎｍ以下である。

[0062] 非磁性層２０は、積層体１０と参照層３０とに挟まれる。非磁性層２０は、参照層３０の一面に積層される。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 参照層３０は、積層体１０と共に、非磁性層２０を挟む。参照層３０は、少なくとも一部が第３領域Ａ３とｚ方向に重なる位置にある。参照層３０は、例えば、積層体１０より基板Ｓｕｂの近くにある。

[0066] 参照層３０の磁化は、積層体１０の第３領域Ａ３の磁化より反転しにくい。参照層３０の磁化は、第３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。参照層３０は、固定層と言われる場合もある。

[0067] 参照層３０は、強磁性体を含む。参照層３０は、例えば、積層体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。参照層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。参照層３０は、例えば、Ｃｏ－Ｆｅ、Ｃｏ－Ｆｅ－Ｂ、Ｎｉ－Ｆｅである。

[0068] 参照層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。

[0069] 参照層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領域Ａ３より長い。非磁性層２０を挟んで参照層３０と第３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。参照層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。

[0070] 参照層３０は、例えば、ｘ方向において、積層体１０より長い。ｚ方向から見て参照層３０が積層体１０の全体と重畳すると、積層体１０の放熱性が向上する。その結果、第１領域Ａ１の磁化及び第２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。

[0071] 磁化固定層４０は、積層体１０に接続されている。磁化固定層４０は、積層体１０の第１領域Ａ１に接続されている。磁化固定層４０の磁化M_{40}は第１領域Ａ１の磁化を固定する。磁化固定層４０は、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、磁化固定層４０と磁化固定層５０との間に流れる。

[0072] 磁化固定層４０は、例えば、強磁性体である。磁化固定層４０は、例えば、第１強磁性層１１、第２強磁性層１２又は参照層３０と同様の材料を適用できる。また磁化固定層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。

[0073] 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。

[0074] また磁化固定層４０は、強磁性体に限られない。磁化固定層４０が強磁性体ではない場合は、磁化固定層４０と重なる領域で積層体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領域Ａ１の磁化が固定される。

[0075] 磁化固定層５０は、磁化固定層４０と異なる位置で、積層体１０に接続されている。磁化固定層５０は、積層体１０の第２領域Ａ２に接続されている。磁化固定層５０の磁化M_{50}は第２領域Ａ２の磁化を固定する。磁化固定層５０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。

[0076] 磁化固定層５０は、磁化固定層４０と同様の材料を用いることができる。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。

[0077] 磁化固定層５０の膜厚は、磁化固定層４０の膜厚より厚くてもよい。磁化固定層５０の膜厚と磁化固定層４０の膜厚とが異なると、磁化固定層５０と磁化固定層４０の保磁力に差が生じやすい。磁化固定層５０と磁化固定層４０の保磁力に差があると、製造時点で、磁化固定層５０の磁化M_{50}の配向方向と磁化固定層４０の磁化M_{40}の配向方向とを異なる方向に設定しやすくなる。

[0078] 磁化固定層４０及び磁化固定層５０の形状は特に問わない。図５では、ｚ方向から見た磁化固定層４０及び磁化固定層５０の平面視形状が矩形の例を示したが、図８に示すように磁化固定層４０及び磁化固定層５０の平面視形状は円形でもよい。図８は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００の別の例の平面図である。磁化固定層４０及び磁化固定層５０の平面視形状は、例えば、矩形、円形、楕円形等である。

[0079] 電極６０は、参照層３０に接続されている。電極６０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出し電極である。読出し電流は、例えば、磁化固定層５０と電極６０との間に流れる。電極６０は、導電性を有する材料を含む。電極６０は、ｚ方向に延びるビア配線でもよい。

[0080] 磁壁移動素子１００は、積層体１０、非磁性層２０及び参照層３０以外の層を有してもよい。例えば、参照層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。参照層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。

[0081] 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。

[0082] 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。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。各層の加工は、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。

[0083] 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。

[0084] 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。

[0085] まずパルス印加装置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。

[0086] 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スイッチング素子ＳＷ１及び第２スイッチング素子ＳＷ２をＯＮにし、第３スイッチング素子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スイッチング素子ＳＷ１及び第２スイッチング素子ＳＷ２の少なくともいずれか一方をＯＦＦにする。

[0087] そして、パルス印加装置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の積層体１０に沿って、磁化固定層４０と磁化固定層５０との間に印加される。その結果、書き込み電流の一部は、スペーサ層１３の面内のいずれかの方向に沿って流れる。図４及び図６で示す例において、書き込み電流の一部は、スペーサ層１３の面内に沿ってｘ方向に流れる。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。

[0088] 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。

[0089] まずパルス印加装置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。

[0090] 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スイッチング素子ＳＷ３及び第２スイッチング素子ＳＷ２をＯＮにし、第１スイッチング素子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スイッチング素子ＳＷ３及び第２スイッチング素子ＳＷ２の少なくともいずれか一方をＯＦＦにする。

[0091] 次いで、パルス印加装置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、電極６０と磁化固定層５０との間に印加される。読出しパルスの電圧は、積層体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。

[0092] 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。

[0093] 本実施形態に係る磁壁移動素子１００は、積層体１０のスペーサ層１３がスピンホール角の符号の異なる第１層１４と第２層１５とを含む。磁壁移動素子１００の書き込み電流の一部は、スペーサ層１３に沿って流れる。スペーサ層１３全体で考えた場合、第１層１４で生じるスピン流と、第２層１５で生じるスピン流とは互いに打ち消し合う。その結果、第１強磁性層１１又は第２強磁性層１２に実効的に注入されるスピンの量が減る。つまり、第１層１４と第２層１５のスピンホール角の符号が異なると、第１強磁性層１１又は第２強磁性層１２の磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与が少なくなる。磁壁移動が主にスピン軌道トルクによって生じる場合、磁壁移動の特性が外部磁場、環境温度等の影響を受けやすい。本実施形態に係る磁壁移動素子１００は、磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与が小さく、信頼性が高い。

[0094] ［第２実施形態］

図９は、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１を積層体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。磁壁移動素子１０１の平面視形状は、磁壁移動素子１００と同様である。

[0095] 磁壁移動素子１０１は、非磁性層７０をさらに有する点が、磁壁移動素子１００と異なる。磁壁移動素子１０１において、磁壁移動素子１００と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く。

[0096] 非磁性層７０は、第２強磁性層１２のスペーサ層１３から遠い側の面に接する。非磁性層７０は、第２強磁性層１２のスペーサ層１３と接する面と反対側の面に接する。

[0097] 図１０は、第２実施形態に係る磁壁移動素子１０１の特徴部分の拡大図である。非磁性層７０のスピンホール角の符号は、スペーサ層１３のうち第２強磁性層１２と接する第２層１５の符号と同じである。すなわち、非磁性層７０のスピンホール角の符号は、第２層１５のスピンホール角の符号と同じである。第２層１５は、スペーサ層１３のうち、非磁性層７０と接する第２強磁性層１２と、接する層である。非磁性層７０には、第２層１５と同様の材料を用いることができる。

[0098] 非磁性層７０と第２層１５のスピンホール角の符号が同じであると、非磁性層７０から第２強磁性層１２に注入されるスピンの向きと、第２層１５から第２強磁性層１２に注入されるスピンの向きとが反対になる。第２強磁性層１２に注入されるスピン同士は互いに打ち消し合うため、実効的に第２強磁性層１２に注入されるスピン量が減る。その結果、第２強磁性層１２の磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与がより少なくなる。

[0099] 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１００と同様に、磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与が小さく、信頼性が高い。

[0100] ここでは一例として、非磁性層７０が第２強磁性層１２に接する例を示した。一方で、非磁性層は第１強磁性層１１と接してもよい。図１１は、第２実施形態に係る磁壁移動素子の別の例の特徴部分の拡大図である。図１１に示す磁壁移動素子は、非磁性層７１を有する点が、磁壁移動素子１００と異なる。非磁性層７１は、第１強磁性層１１のスペーサ層１３と接する面と反対側の面に接する。

[0101] 非磁性層７１のスピンホール角の符号は、スペーサ層１３のうち第１強磁性層１１と接する第１層１４の符号と同じである。すなわち、非磁性層７１のスピンホール角の符号は、第１層１４のスピンホール角の符号と同じである。第１層１４は、スペーサ層１３のうち、非磁性層７１と接する第１強磁性層１１と、接する層である。非磁性層７１には、第１層１４と同様の材料を用いることができる。

[0102] 非磁性層７１と第１層１４のスピンホール角の符号が同じであると、非磁性層７１から第１強磁性層１１に注入されるスピンの向きと、第１層１４から第１強磁性層１１に注入されるスピンの向きとが反対になる。第１強磁性層１１に注入されるスピン同士は互いに打ち消し合うため、実効的に第１強磁性層１１に注入されるスピン量が減る。その結果、第１強磁性層１１の磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与がより少なくなる。したがって、当該構成は、第１実施形態に係る磁壁移動素子１００と同様の効果を奏する。

[0103] ［第３実施形態］

図１２は、第３実施形態に係る磁壁移動素子１０２を積層体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。磁壁移動素子１０２の平面視形状は、磁壁移動素子１００と同様である。

[0104] 磁壁移動素子１０２は、非磁性層８０をさらに有する点が、磁壁移動素子１００と異なる。磁壁移動素子１０２において、磁壁移動素子１００と同様の構成については、同様の符号を付し、説明を省く。

[0105] 非磁性層８０は、第２強磁性層１２のスペーサ層１３から遠い側の面に接する。非磁性層８０は、第２強磁性層１２のスペーサ層１３と接する面と反対側の面に接する。

[0106] 図１３は、第３実施形態に係る磁壁移動素子１０２の特徴部分の拡大図である。非磁性層８０と第２強磁性層１２との間に働くジャロシンスキー・守谷相互作用の符号は、第２層１５と第２強磁性層１２との間に働くジャロシンスキー・守谷相互作用の符号と同じである。第２層１５は、スペーサ層１

３のうち第２強磁性層１２と接する層である。ジャロシンスキー・守谷相互作用は、磁性体と非磁性体との界面において生じるスピンの捻れを誘起する相互作用である。またジャロシンスキー・守谷相互作用の符号は、値の正負であり、“＋”又は“－”である。ジャロシンスキー・守谷相互作用の符号が異なると、磁化に作用する力の向きが反対になる。

[0107] 図１４は、二つの磁区の間に生じる磁壁における磁化の捻れ方の例を示す。磁壁ＤＷは、第１磁区ＭＤ１と第２磁区ＭＤ２の間に生じる。磁壁ＤＷでは、第１磁区ＭＤ１から第２磁区ＭＤ２に向かって磁化が捻れている。

[0108] 図１４（ａ）は磁化の捻れ方の第１例を示し、磁化は磁壁ＤＷにおいて第１磁区ＭＤ１及び第２磁区ＭＤ２の磁化に対して＋ｘ方向に捻れている。図１４（ｂ）は磁化の捻れ方の第２例を示し、磁化は磁壁ＤＷにおいて第１磁区ＭＤ１及び第２磁区ＭＤ２の磁化に対して－ｘ方向に捻れている。図１４（ｃ）は磁化の捻れ方の第３例を示し、磁化は磁壁ＤＷにおいて第１磁区ＭＤ１及び第２磁区ＭＤ２の磁化に対して＋ｙ方向に捻れている。図１４（ｄ）は磁化の捻れ方の第４例を示し、磁化は磁壁ＤＷにおいて第１磁区ＭＤ１及び第２磁区ＭＤ２の磁化に対して－ｙ方向に捻れている。図１４（ａ）及び図１４（ｂ）に示す例はネール磁壁と言われ、図１４（ｃ）及び図１４（ｄ）に示す例はブロッホ磁壁と言われる。ネール磁壁はスピン軌道トルクが作用することで動くが、ブロッホ磁壁はスピン軌道トルクが作用しても動かない。

[0109] 図１５は、非磁性層ＨＭ１と強磁性層Ｍ１との間に作用するジャロシンスキー・守谷相互作用の概念図である。図１５（ａ）は、＋ｘ方向にジャロシンスキー・守谷相互作用ＤＭＩ１が作用する例であり、図１５（ｂ）は、－ｘ方向にジャロシンスキー・守谷相互作用ＤＭＩ２が作用する例である。図１５（ａ）に示すように、＋ｘ方向にジャロシンスキー・守谷相互作用ＤＭＩ１が作用すると、第１例で示す磁化の捻れが生じる。図１５（ｂ）に示すように、－ｘ方向にジャロシンスキー・守谷相互作用ＤＭＩ２が作用すると、第２例で示す磁化の捻れが生じる。すなわち、ジャロシンスキー・守谷相

互作用が働くことでネール磁壁が形成される。

[0110] ジャロシンスキー・守谷相互作用がいずれの方向に作用するかは、ジャロシンスキー・守谷相互作用の符号によって決まる。ジャロシンスキー・守谷相互作用の符号は、非磁性層ＨＭ１と強磁性層Ｍ１との組み合わせによって変わる。非磁性層８０には、例えば、第２層１５と同様の材料を用いることができる。

[0111] 非磁性層８０のジャロシンスキー・守谷相互作用の符号は、スペーサ層１３のうち第２強磁性層１２と接する第２層１５のジャロシンスキー・守谷相互作用の符号と同じである。この場合、図１３に示すように、第２層１５と第２強磁性層１２との界面で作用するジャロシンスキー・守谷相互作用が誘起する磁化の捻れと、非磁性層８０と第２強磁性層１２との界面で作用するジャロシンスキー・守谷相互作用が誘起する磁化の捻れが、反対になり、互いに打ち消し合う。その結果、磁壁ＤＷにおける磁化はｘ方向に捻れずに、＋ｙ方向又は－ｙ方向に捻れる。すなわち、磁壁ＤＷはブロッホ磁壁となる。

[0112] 上述のように、ブロッホ磁壁はスピン軌道トルクが作用しても動かない。そのため、上記の構成を満たすと、第２強磁性層１２の磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与がより少なくなる。

[0113] 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と同様に、磁化反転に対するスピン軌道トルクの寄与が小さく、信頼性が高い。

[0114] また第３実施形態においても第２実施形態と同様に、非磁性層８１が第１強磁性層１１と接してもよい。図１６は、第３実施形態に係る磁壁移動素子の別の例の特徴部分の拡大図である。非磁性層８１のジャロシンスキー・守谷相互作用の符号は、スペーサ層１３のうち第１強磁性層１１と接する第１層１４のジャロシンスキー・守谷相互作用と同じでもよい。当該構成においても、第３実施形態に係る磁壁移動素子１０２と同様の効果を奏する。

[0115] ［第４実施形態］

図１７は、第４実施形態に係る磁壁移動素子１０４の断面図である。図１７に示す磁壁移動素子１０４は、参照層３０が積層体１０より基板Ｓｕｂから離れた位置にある点が、磁壁移動素子１００と異なる。磁壁移動素子１０４は、トップピン構造と言われる。磁壁移動素子１００は、参照層３０が積層体１０より基板Ｓｕｂの近くにあり、ボトムピン構造と言われる。磁壁移動素子１０４に示すようなトップピン構造においても、ボトムピン構造の場合と同様の効果が得られる。

[0116] 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。

[0117] 例えば、第１実施形態から第４実施形態では、スペーサ層１３が第１層１４と第２層１５の２層からなる例を示したが、スペーサ層１３を構成する非磁性層の総数はこの例に限られず、３層以上でもよい。

符号の説明

[0118] １…集積領域、２…周辺領域、３…パルス印加装置、４…抵抗検出装置、５…出力部、６…制御部、７…電源、１０…積層体、１１…第１強磁性層、１２…第２強磁性層、１３…スペーサ層、１４…第１層、１５…第２層、２０…非磁性層、３０…参照層、４０，５０…磁化固定層、６０…電極、７０，７１，８０，８１…非磁性層、９０…絶縁層、１００，１０１，１０２，１０３…磁壁移動素子、Ａ１…第１領域、Ａ２…第２領域、Ａ３…第３領域、ＷＬ…第１配線、ＣＬ…第２配線、ＲＬ…第３配線、ＤＷ…磁壁、ＭＡ…磁気アレイ

請求の範囲

[請求項1] 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スペーサ層と、を備える、積層体を備え、

前記第１強磁性層と前記第２強磁性層とのうち少なくとも一方は、内部に磁壁を有し、

前記スペーサ層は、非磁性の第１層と、前記第１層に隣接する非磁性の第２層と、を有し、

前記第１層は、負のスピンホール角を示し、

前記第２層は、正のスピンホール角を示し、

書き込み電流の一部は、前記スペーサ層の面内のいずれかの方向に沿って流れる、磁壁移動素子。

[請求項2] 前記第１層と前記第２層とのうちスピンホール角の絶対値が大きい方の層の膜厚は、前記第１層と前記第２層とのうちスピンホール角の絶対値が小さい方の層の膜厚より薄い、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項3] 前記第１層と前記第２層とのうち抵抗率が大きい方の層の膜厚は、前記第１層と前記第２層とのうち抵抗率が小さい方の層の膜厚より厚い、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項4] 前記スペーサ層は、Ｍｇ、Ａｕ、Ａｌ、Ｈｆ、Ｔａ、Ｗ、Ｍｏ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ｃｕ、Ｒｕ、Ｉｒからなる群から選択されるいずれかの原子を含む、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項5] 前記第１層は、第３族、第４族、第５族及び第６族のいずれかに属する原子を含み、

前記第２層は、第８族、第９族、第１０族、第１１族及び第１２族のいずれかに属する原子を含む、請求項４に記載の磁壁移動素子。

[請求項6] 前記第１強磁性層と前記第２強磁性層とは、構成材料が異なる、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項7] 前記第１強磁性層は、内部に磁壁を有し、

前記第１強磁性層は、面内の異なる位置に、磁壁が移動できる磁壁移動可能領域と、磁化が固定された磁化固定領域とを有する、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項8] 非磁性層をさらに備え、

前記非磁性層は、前記第１強磁性層の前記スペーサ層から遠い側の面、又は、前記第２強磁性層の前記スペーサ層から遠い側の面に接し、

前記非磁性層のスピンホール角の符号は、前記スペーサ層のうち、前記非磁性層と接する第１強磁性層又は第２強磁性層と、接する層のスピンホール角の符号と同じである、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項9] 非磁性層をさらに備え、

前記非磁性層は、前記第１強磁性層の前記スペーサ層から遠い側の面、又は、前記第２強磁性層の前記スペーサ層から遠い側の面に接し、

前記非磁性層のジャロシンスキー・守谷相互作用の符号は、前記スペーサ層のうち、前記非磁性層と接する第１強磁性層又は第２強磁性層と、接する層のジャロシンスキー・守谷相互作用の符号と同じである、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項10] 非磁性層をさらに備え、

前記非磁性層は、Ｍｇ又はＡｌを含む酸化物を含み、前記第２強磁性層より前記第１強磁性層の近くにあり、

前記第２強磁性層の膜厚は、前記第１強磁性層の膜厚より厚い、請求項１に記載の磁壁移動素子。

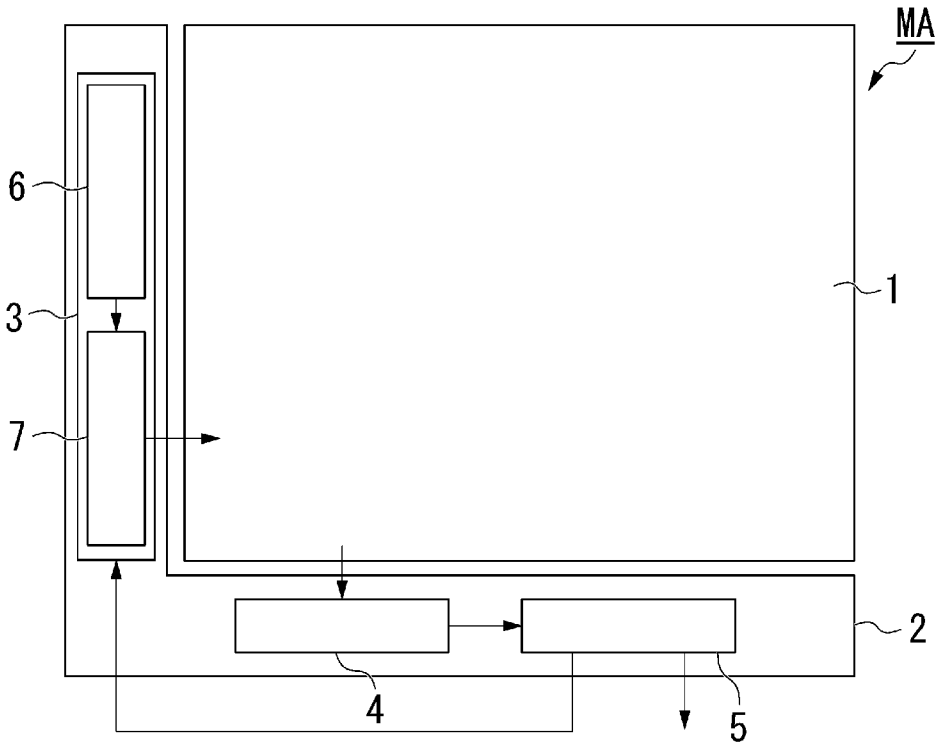
[請求項11] 非磁性層と参照層とをさらに備え、

前記非磁性層は、前記積層体と前記参照層との間にあり、

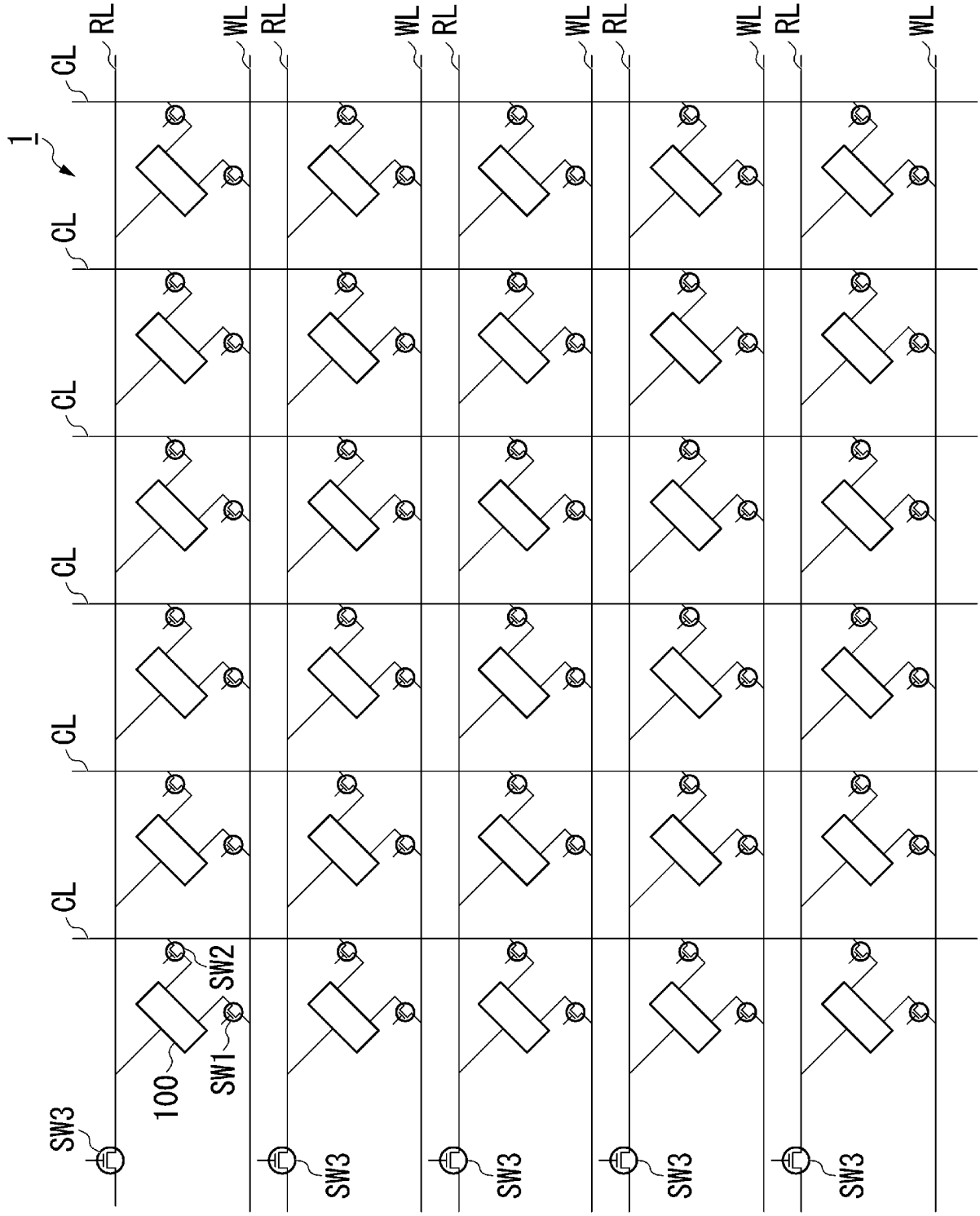
前記参照層は、磁化が固定された強磁性体を含む、請求項１に記載の磁壁移動素子。

[請求項12] 請求項１に記載の磁壁移動素子を含む、磁気アレイ。

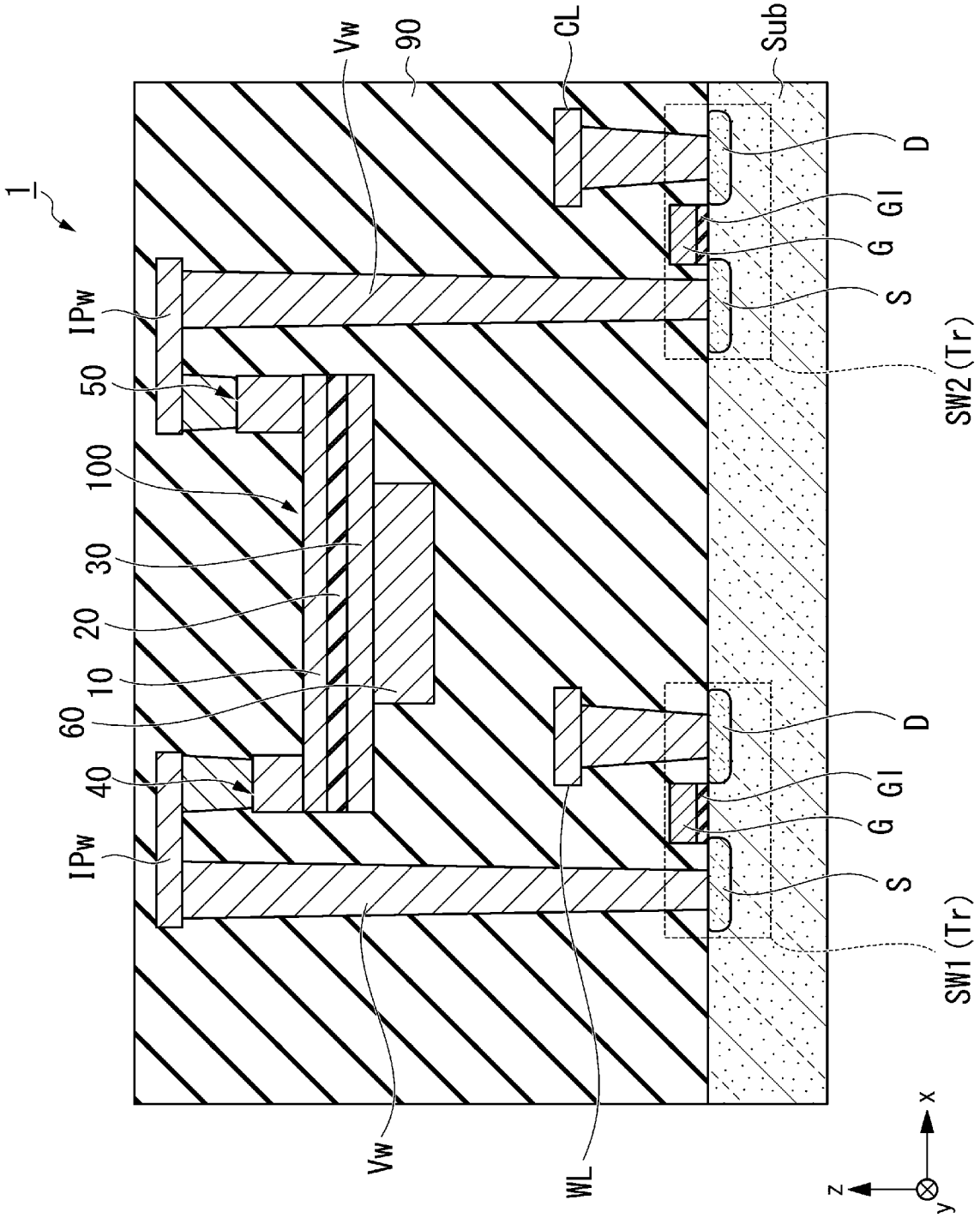
[図1]



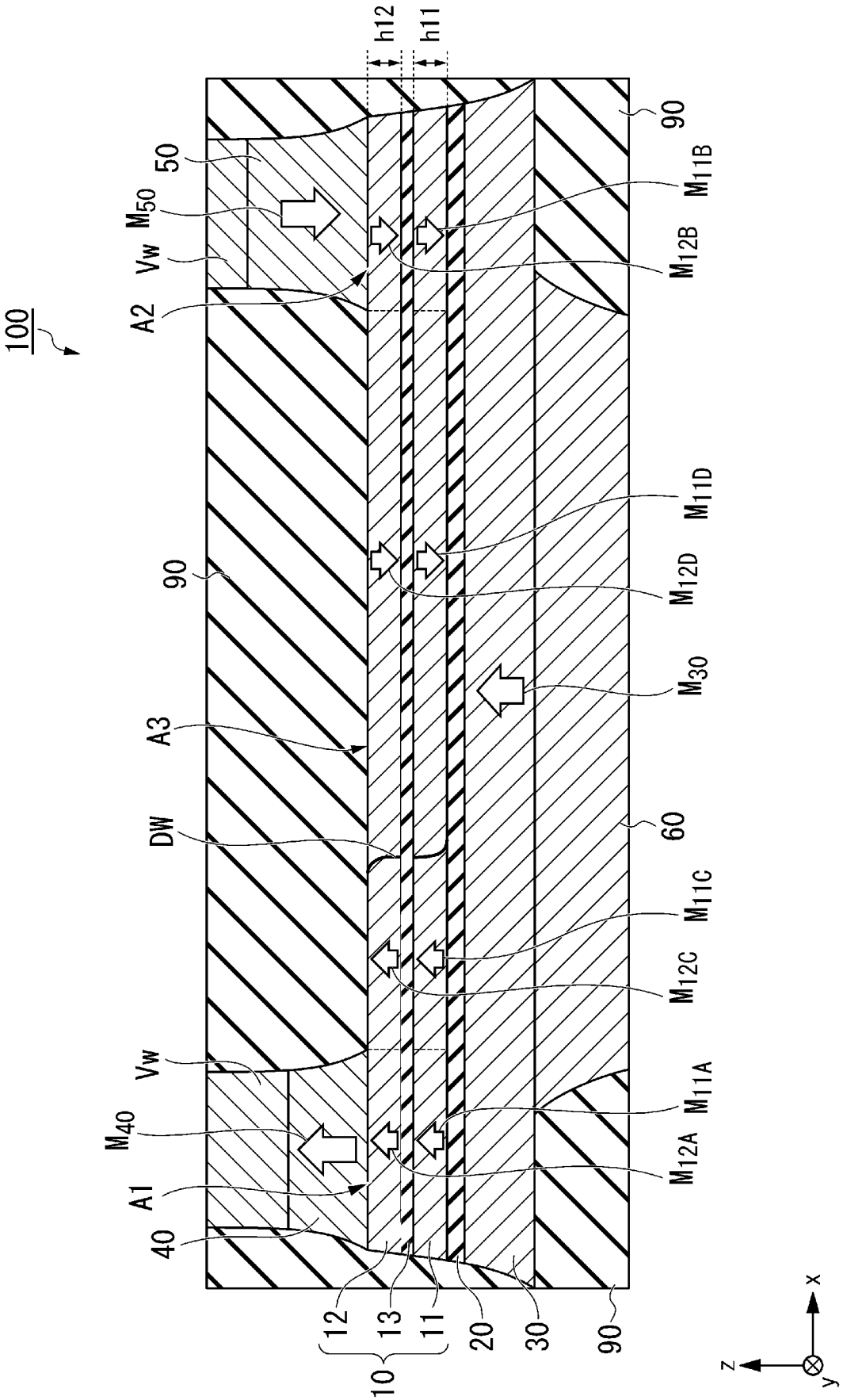
[図2]



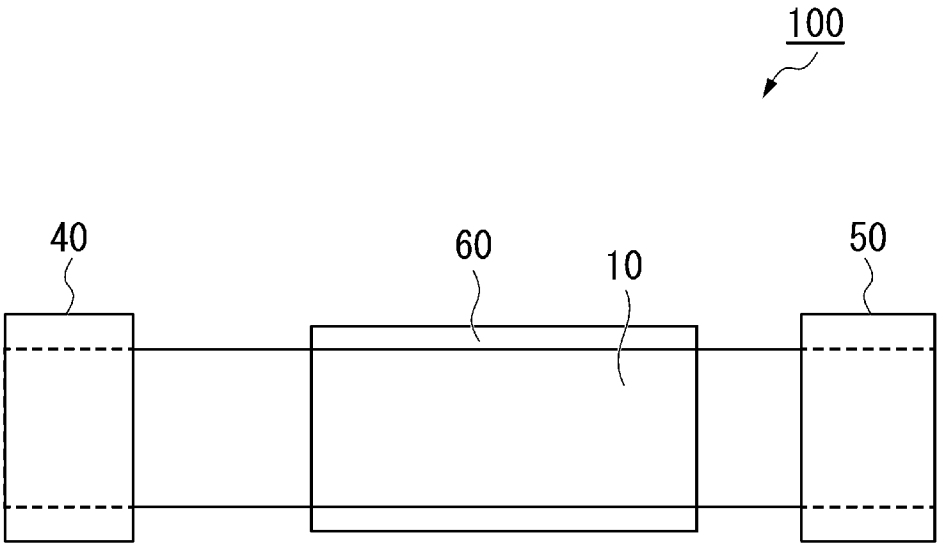
[図3]


1
Vw
90
CL
Sub
D
GI
G
S
SW2 (Tr)
IPw
50
100
30
20
10
60
40
IPw
SW1 (Tr)
Vw
WL
x
z
y

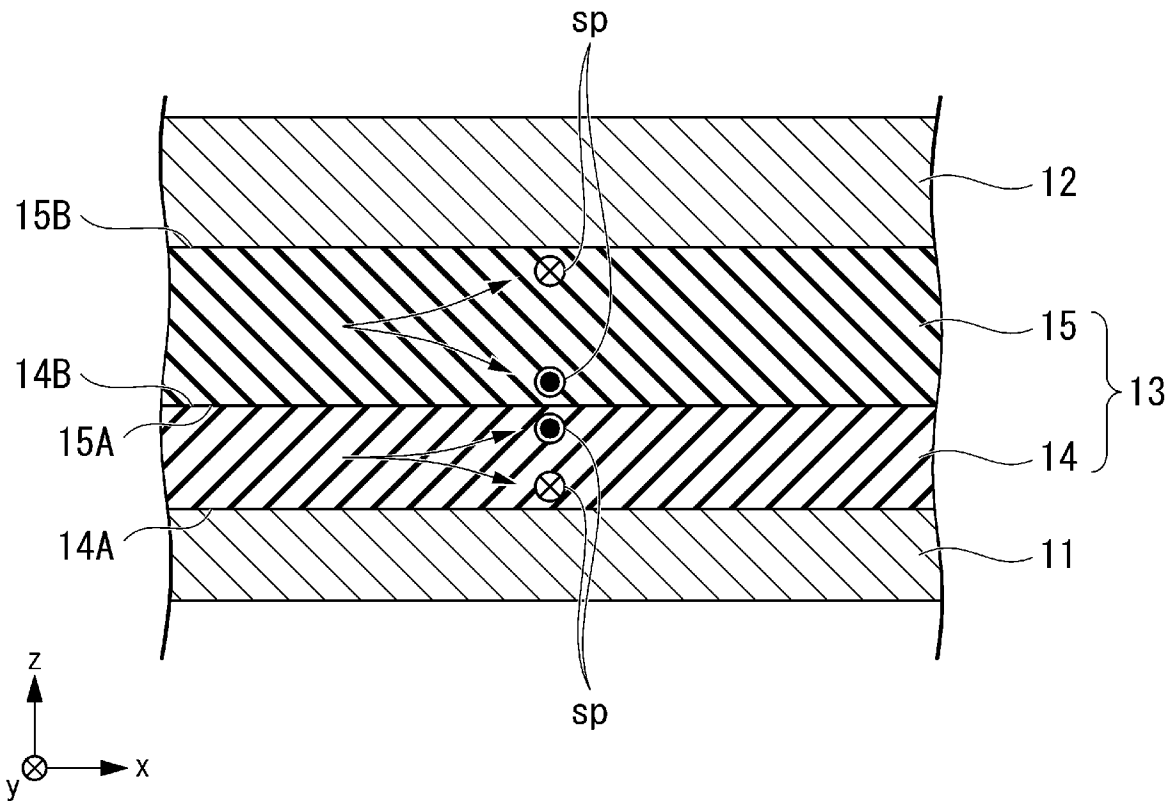
[図4]


100
h12
h11
90
50
M50
Vw
A2
M11B
M12B
M11D
M12D
M30
A3
DW
60
M11C
M12C
M11A
M12A
M40
A1
40
12
13
11
20
30
90
10
x
z
y

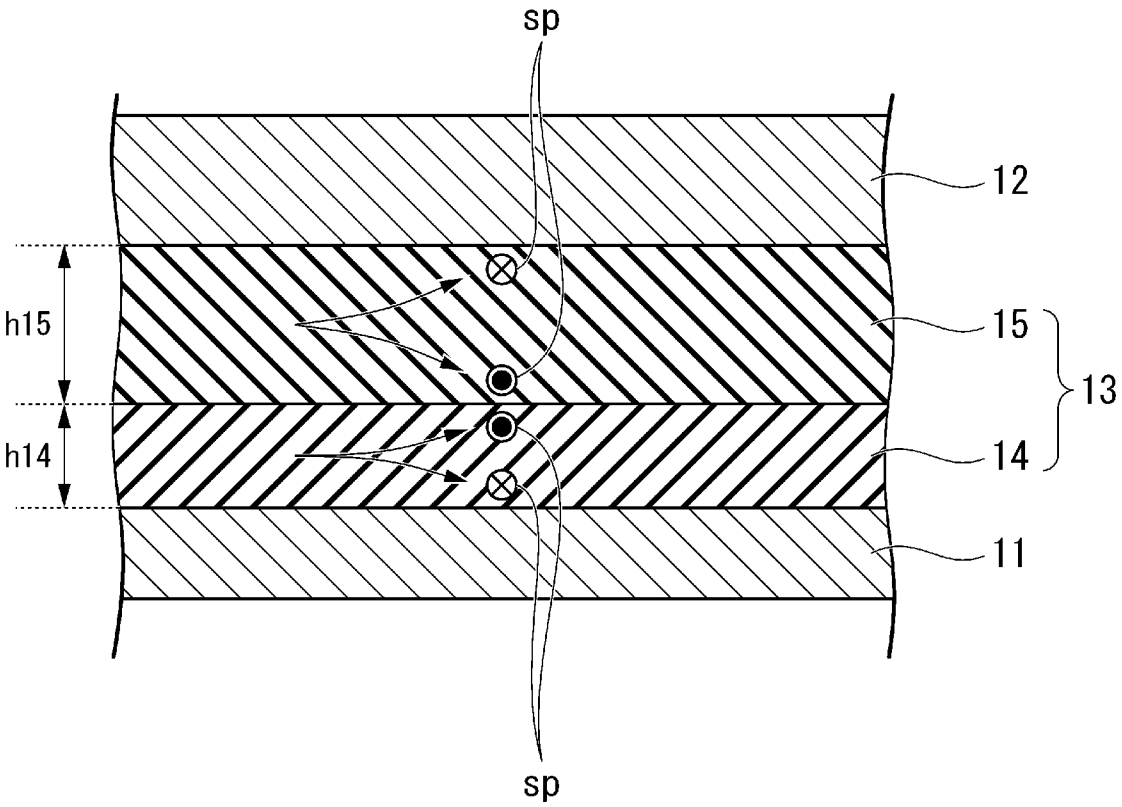
[図5]



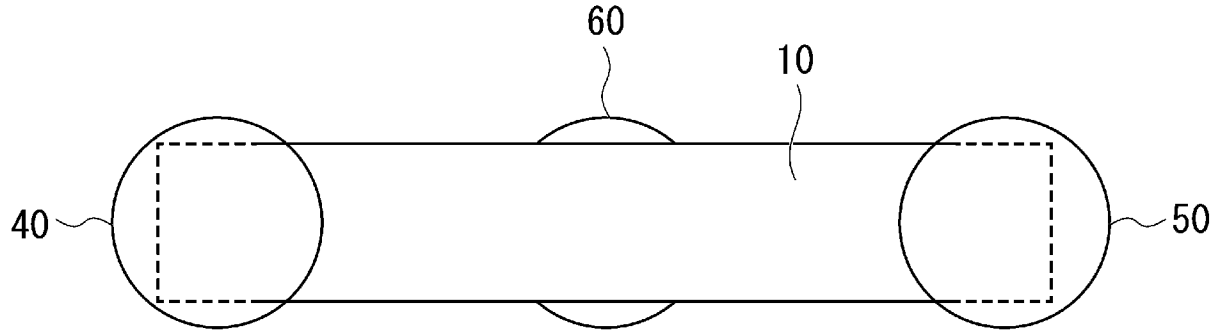
[図6]



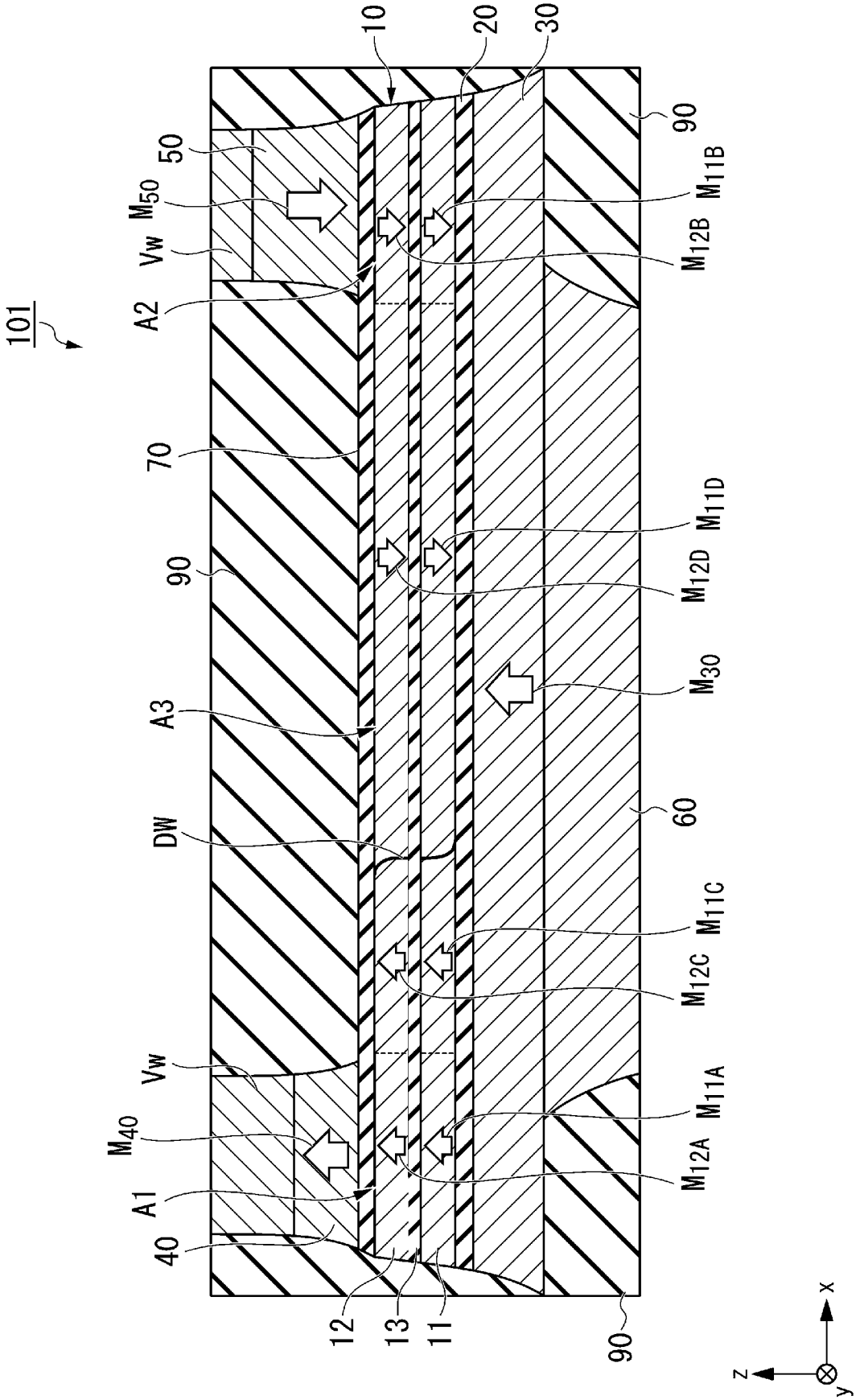
[図7]



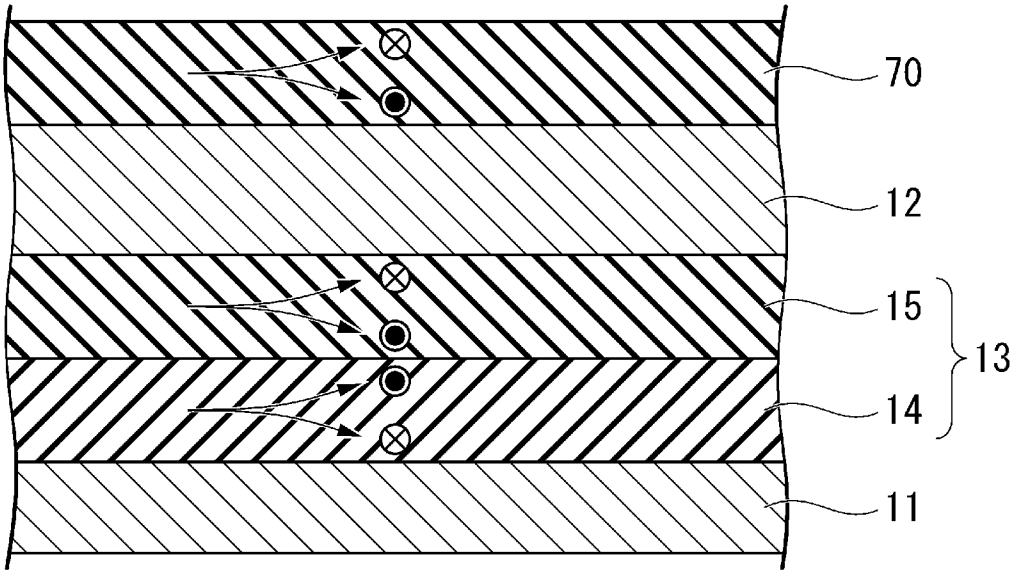
[図8]



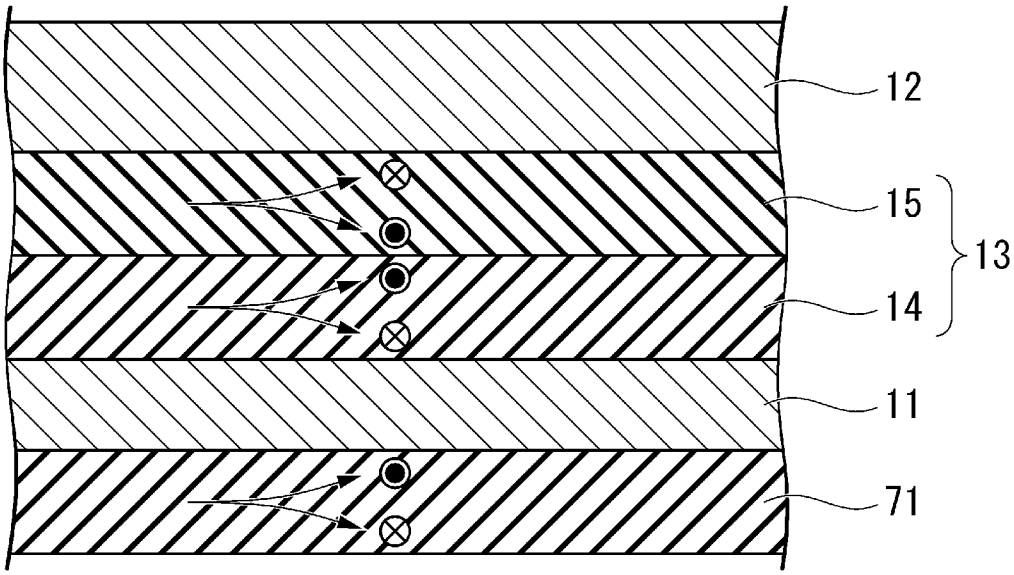
[図9]


101
10
20
30
90
50
M_{50}
Vw
A2
M_{11B}
M_{12B}
70
M_{11D}
90
M_{12D}
A3
M_{30}
DW
60
M_{11C}
M_{12C}
Vw
M_{11A}
M_{40}
M_{12A}
A1
40
12
13
11
90
x
z
y

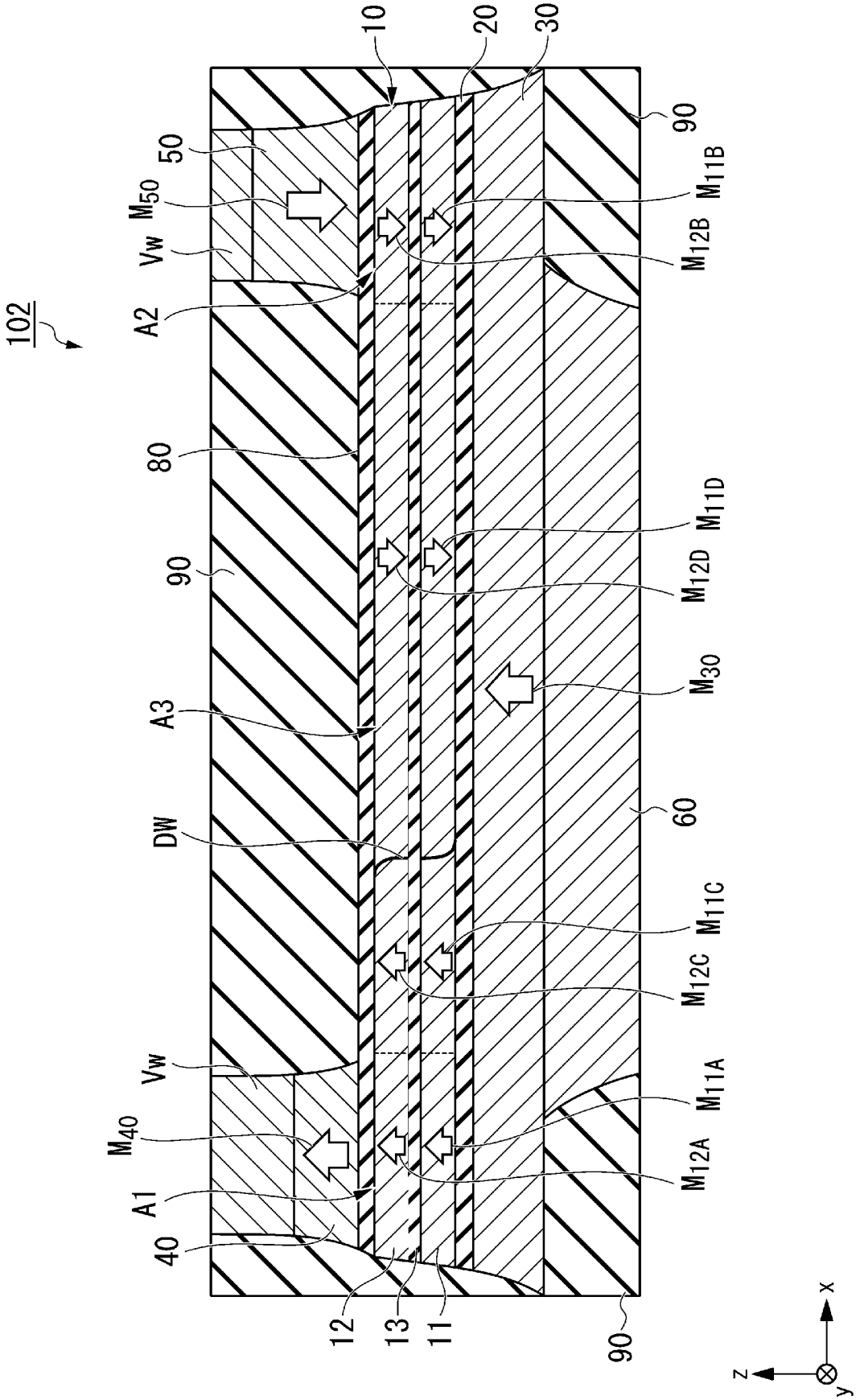
[図10]



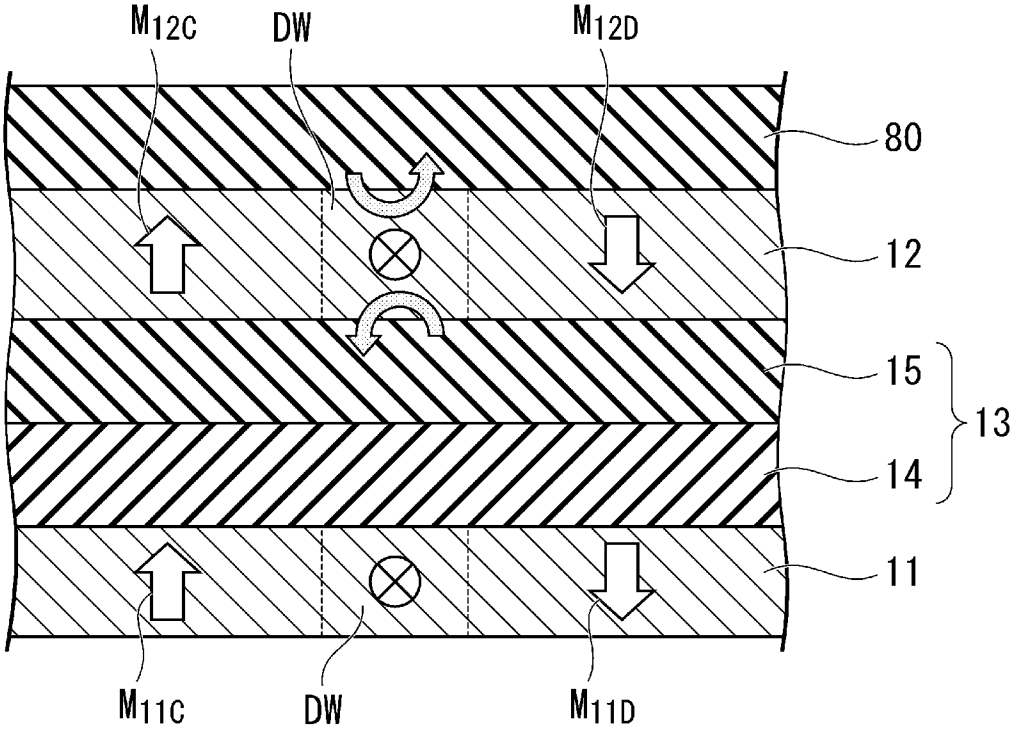
[図11]



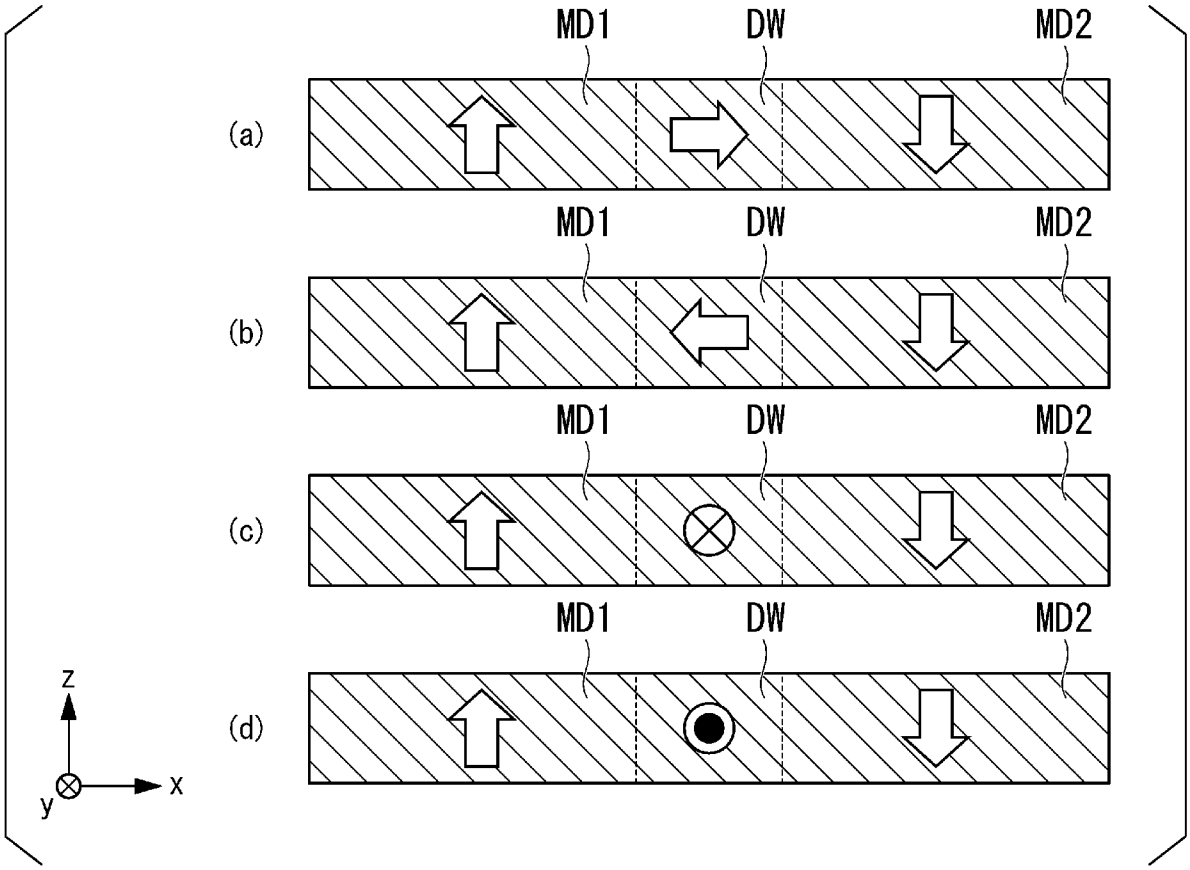
[図12]


102
10
20
30
50
90
M_{50}
M_{11B}
V_W
M_{12B}
A2
80
M_{11D}
90
M_{12D}
M_{30}
A3
DW
60
M_{11C}
M_{12C}
V_W
M_{11A}
M_{40}
M_{12A}
A1
40
12
13
11
90
x
z
y

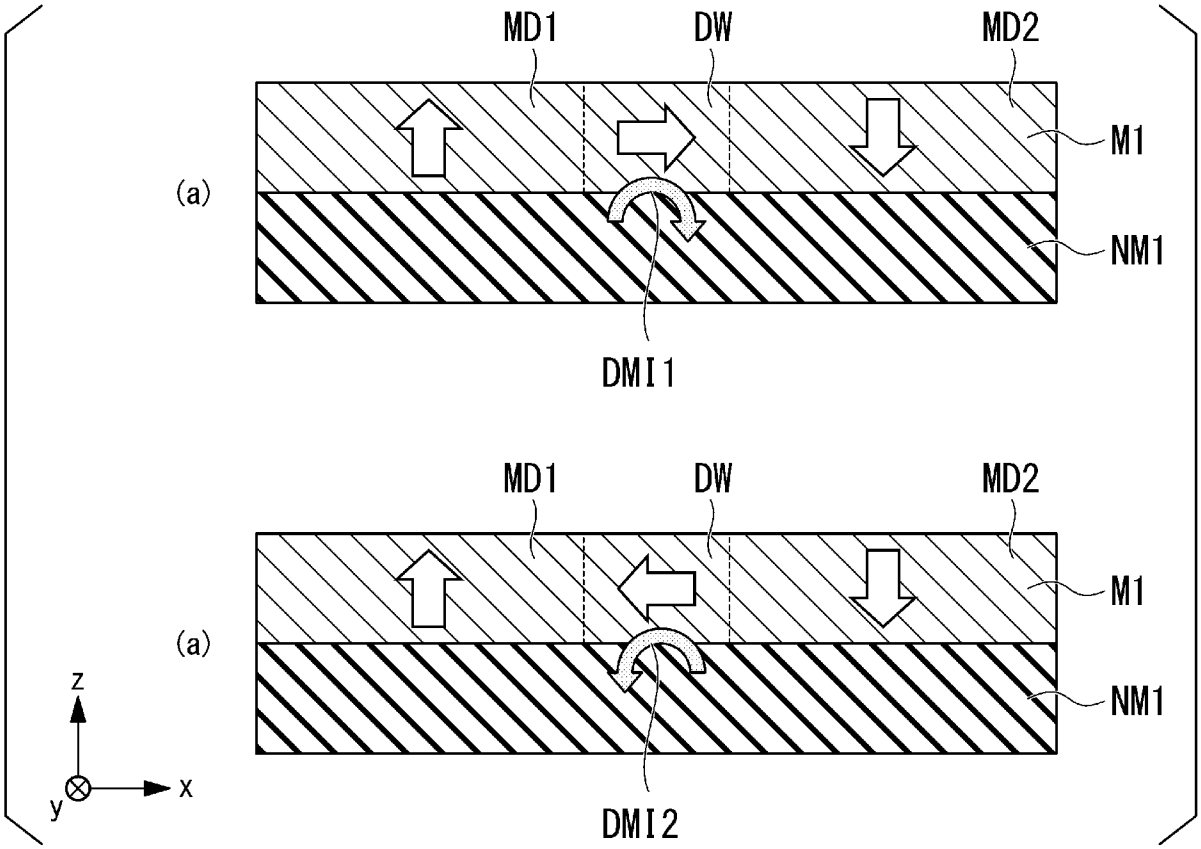
[図13]



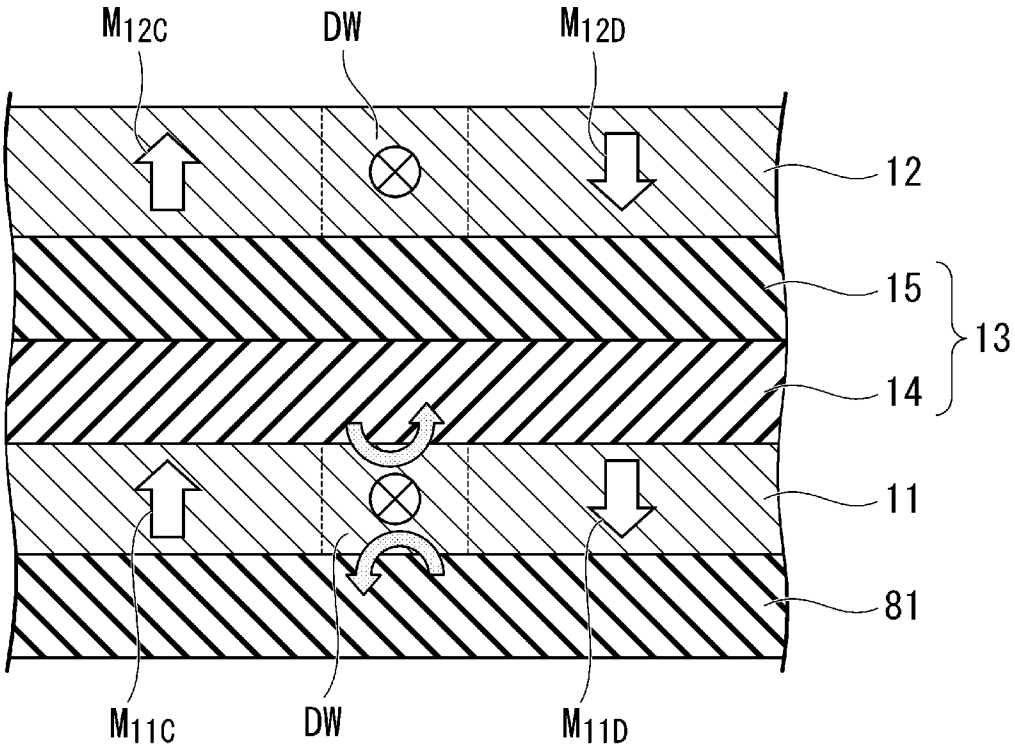
[図14]



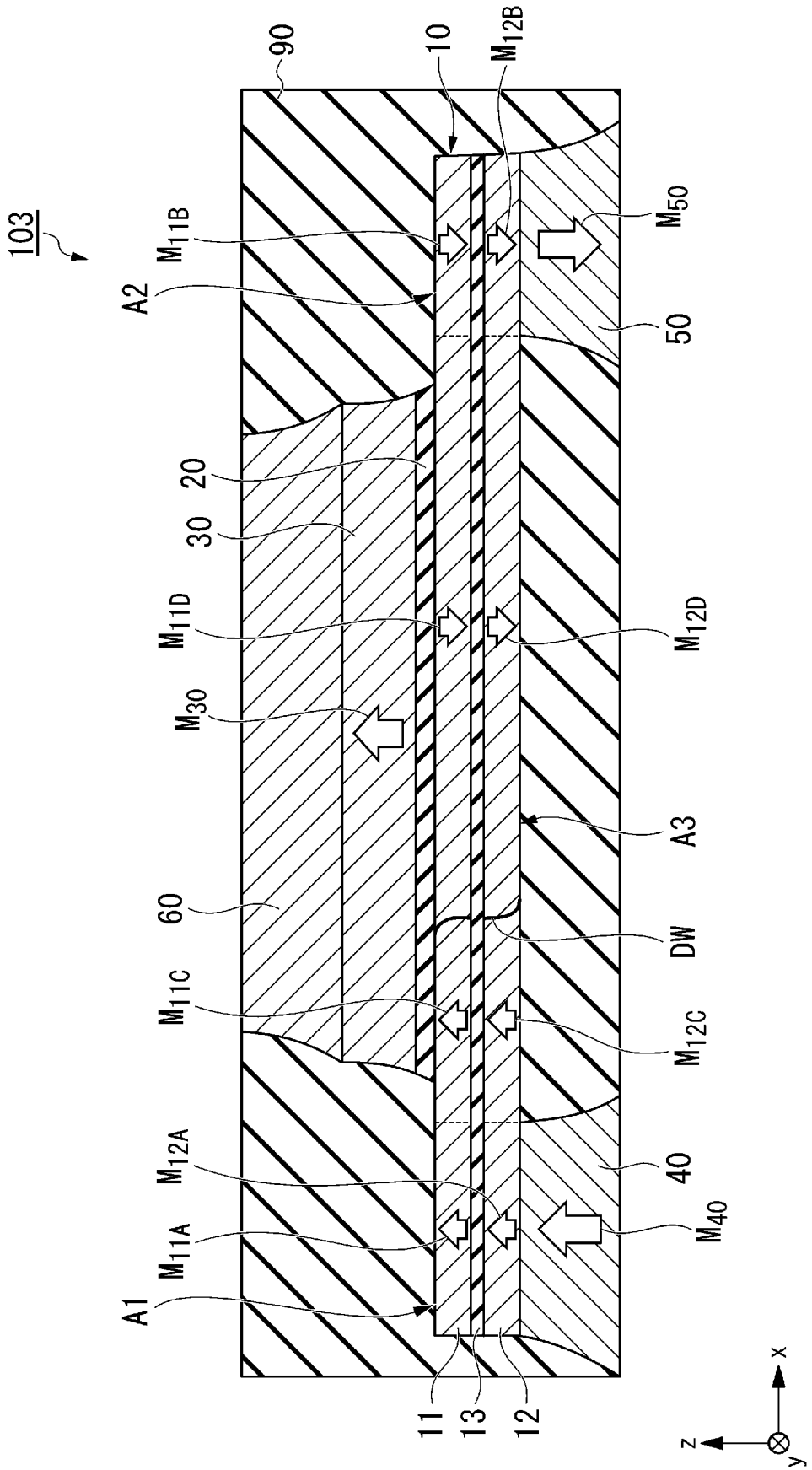
[図15]


MD1
DW
MD2
M1
(a)
NM1
DMI1
MD1
DW
MD2
M1
(a)
NM1
z
x
y
DMI2

[図16]


M12C
DW
M12D
12
15
13
14
11
81
M11C
DW
M11D

[図17]


103
90
10
M12B
M11B
A2
M50
50
20
30
M11D
M12D
M30
A3
60
DW
M11C
M12C
M12A
40
M11A
M40
A1
11
13
12
x
z
y

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/005968

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H10B 61/00(2023.01)i; ***G11C 11/16***(2006.01)i; ***H01L 29/82***(2006.01)i
FI: H10B61/00; H01L29/82 Z; G11C11/16 100C

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; G11C11/16; 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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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 [0008], [0027], [0040]-[0048], [0052], [0058]-[0059], [0061]-[0062], fig. 1, 3	1, 4-8, 10-12
A		2-3, 9
Y	JP 2018-157108 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 04 October 2018 (2018-10-04) paragraphs [0009], [0021], [0023], [0026]-[0027], [0033]-[0036], fig. 4	1, 4-8, 10-12
A		2-3, 9
A	WO 2019/203132 A1 (TOHOKU UNIVERSITY) 24 October 2019 (2019-10-24) entire text, all drawings	1-12
A	WO 2021/006219 A1 (TDK CORPORATION) 14 January 2021 (2021-01-14) entire text, all drawings	1-12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
28 April 2023	**16 May 2023**
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/JP2023/005968

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 [0009], [0037], [0050]-[0058], [0063], [0069]-[0070], [0073]-[0074], fig. 1, 3 WO 2022/070378 A1 CN 114373780 A	
JP 2018-157108 A	04 October 2018	JP 6290487 B1 US 2018/0268886 A1 paragraphs [0033], [0035], [0038]-[0039], [0047]-[0050], fig. 4	
WO 2019/203132 A1	24 October 2019	US 2021/0158849 A1 entire text, all drawings	
WO 2021/006219 A1	14 January 2021	US 2022/0359817 A1 entire text, all drawings CN 114051655 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/005968

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; G11C 11/16(2006.01)i; H01L 29/82(2006.01)i
FI: H10B61/00; H01L29/82 Z; G11C11/16 100C

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; G11C11/16; 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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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) [0008], [0027], [0040] - [0048], [0052], [0058] - [0059], [0061] - [0062], 図1, 3	1,4-8,10-12
A		2-3,9
Y	JP 2018-157108 A (株式会社東芝) 04.10.2018 (2018-10-04) [0009], [0021], [0023], [0026] - [0027], [0033] - [0036], 図4	1,4-8,10-12
A		2-3,9
A	WO 2019/203132 A1 (国立大学法人東北大学) 24.10.2019 (2019-10-24) 全文, 全図	1-12
A	WO 2021/006219 A1 (ＴＤＫ株式会社) 14.01.2021 (2021-01-14) 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	国際調査報告の発送日
28.04.2023	16.05.2023

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/JP2023/005968

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 [0009], [0037], [0050] - [0058], [0063], [0069] - [0070], [0073] - [0074], 図1, 3 WO 2022/070378 A1 CN 114373780 A	
JP 2018-157108 A	04.10.2018	JP 6290487 B1 US 2018/0268886 A1 [0033], [0035], [0038] - [0039], [0047] - [0050], 図4	
WO 2019/203132 A1	24.10.2019	US 2021/0158849 A1 全文, 全図	
WO 2021/006219 A1	14.01.2021	US 2022/0359817 A1 全文, 全図 CN 114051655 A	