(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6228777号
(P6228777)

(45)発行日　平成29年11月8日(2017.11.8)　(24)登録日　平成29年10月20日(2017.10.20)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 29/82	(2006.01)	H01L	29/82	Z
H01L 43/08	(2006.01)	H01L	43/08	Z
H01L 43/10	(2006.01)	H01L	43/08	M
H03K 19/18	(2006.01)	H03K	19/18	
H03K 19/173	(2006.01)	H03K	19/173	130

請求項の数 10　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2013-157423(P2013-157423)
(22)出願日　平成25年7月30日(2013.7.30)
(65)公開番号　特開2014-27283(P2014-27283A)
(43)公開日　平成26年2月6日(2014.2.6)
審査請求日　平成28年7月21日(2016.7.21)
(31)優先権主張番号　13/562,038
(32)優先日　平成24年7月30日(2012.7.30)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　390019839
三星電子株式会社
Ｓａｍｓｕｎｇ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ　Ｃｏ．，Ｌｔｄ．
大韓民国京畿道水原市霊通区三星路１２９
１２９，Ｓａｍｓｕｎｇ－ｒｏ，Ｙｅｏｎｇｔｏｎｇ－ｇｕ，Ｓｕｗｏｎ－ｓｉ，Ｇｙｅｏｎｇｇｉ－ｄｏ，Ｒｅｐｕｂｌｉｃ　ｏｆ　Ｋｏｒｅａ
(74)代理人　100110364
弁理士　実広　信哉
(72)発明者　ドミトロ・アパルコフ
アメリカ合衆国・カリフォルニア・９５１１１・サン・ノゼ・ハッチングス・ドライヴ・２６２０

最終頁に続く

(54)【発明の名称】スピン移動に基づく論理装置を提供するための方法及びシステム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
論理装置において、
複数の磁気入力／チャンネル領域と、
少なくとも１つの磁気センサー領域と、
前記少なくとも１つの磁気センサー領域に連結された少なくとも１つのセンサーと、を含み、
前記複数の磁気入力／チャンネル領域が、前記少なくとも１つの磁気センサー領域の一端に接続され、接地電極が前記少なくとも１つの磁気センサー領域の他端に接続され、
前記複数の磁気入力／チャンネル領域の各々は第１方向に磁気的にバイアスされ、
前記複数の磁気入力／チャンネル領域は‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’を含む合金を含み、‘ｘ＋ｙ＋ｚ＋ｑ１＋ｑ２＝１’であり、ｘ＞０であり、ｙ＞０であり、ｚ＞０であり、ｑ１＞０であり、ｑ２＞０であり、Ｍ１は非磁性体であり、Ｍ２は非磁性体であり、
前記少なくとも１つの磁気センサー領域は前記第１方向と異なる第２方向に磁気的にバイアスされて、前記論理装置が中止状態である場合に前記複数の磁気入力／チャンネル領域に少なくとも１つの磁壁が存在し、
前記少なくとも１つのセンサーは前記少なくとも１つの磁気センサー領域の磁気状態に基づいて信号を出力し、
前記複数の磁気入力／チャンネル領域及び前記少なくとも１つの磁気センサー領域は、

前記複数の磁気入力／チャンネル領域の少なくとも一部へ提供される論理信号に応答して前記少なくとも１つの磁壁が前記少なくとも１つの磁気センサー領域に移動するように構成されている論理装置。

【請求項２】

前記Ｍ１はＢ、Ｔａ、Ｔｉ、Ｖ、Ｗ、Ｃｒ、Ｒｕ、Ｍｇ、Ａｌ、Ｃｕ、Ｒｂ、Ｍｎ、Ｂｅ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｒｈ、Ｇａ、及び／又はＳｂを含む物質の群から選択される請求項１に記載の論理装置。

【請求項３】

前記Ｍ２はＢ、Ｔａ、Ｔｉ、Ｖ、Ｗ、Ｃｒ、Ｒｕ、Ｍｇ、Ａｌ、Ｃｕ、Ｒｂ、Ｍｎ、Ｂｅ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｒｈ、Ｇａ、及び／又はＳｂを含む物質の群から選択される請求項１に記載の論理装置。

【請求項４】

前記複数の磁気入力／チャンネル領域の各々は第１入力／チャンネルレイヤー、第２入力／チャンネルレイヤー、及び前記第１入力／チャンネルレイヤーと前記第２入力／チャンネルレイヤーとの間の挿入レイヤーを含む請求項１に記載の論理装置。

【請求項５】

前記第１入力／レイヤー及び前記第２入力／チャンネルレイヤーは前記合金を含む請求項４に記載の論理装置。

【請求項６】

前記複数の磁気入力／チャンネル領域の各々はシードレイヤー及びキャッピングレイヤーをさらに含み、

前記第１入力／チャンネルレイヤー、前記第２入力／チャンネルレイヤー、及び前記挿入レイヤーは前記シードレイヤー及び前記キャッピングレイヤーの間に存在する請求項４に記載の論理装置。

【請求項７】

前記シードレイヤー及び前記キャッピングレイヤーの各々は酸化物及び窒化物のうち少なくとも１つを含む請求項６に記載の論理装置。

【請求項８】

前記シードレイヤー及び前記キャッピングレイヤーの各々はＭｇＯ、ＮｉＯ、アルミニウム酸化物、シリコン酸化物、ＡｌＮ、ＳｉＮ、ＴａＮ、ＴｉＮ、RuO_2、及びＩＴＯ（ｉｎｄｉｕｍ　ｔｉｎ　ｏｘｉｄｅ）のうち少なくとも１つを含む請求項６に記載の論理装置。

【請求項９】

前記キャッピングレイヤーは導電性を有する請求項６に記載の論理装置。

【請求項１０】

論理装置を提供する方法において、

複数の磁気入力／チャンネル領域を提供する段階と、

少なくとも１つの磁気センサー領域を提供する段階と、

前記少なくとも１つの磁気センサー領域と連結された少なくとも１つのセンサーを提供する段階と、を含み、

前記複数の磁気入力／チャンネル領域が前記少なくとも１つの磁気センサー領域の一端に接続され、接地電極が前記少なくとも１つの磁気センサー領域の他端に接続され、

前記複数の磁気入力／チャンネル領域の各々は第１方向に磁気的にバイアスされ、

前記複数の磁気入力／チャンネル領域は‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’を含む合金を含み、‘ｘ＋ｙ＋ｚ＋ｑ１＋ｑ２＝１’であり、ｘ＞０であり、ｙ＞０であり、ｚ＞０であり、ｑ１＞０であり、ｑ２＞０であり、Ｍ１は非磁性体であり、Ｍ２は非磁性体であり、

前記少なくとも１つの磁気センサー領域は前記第１方向と異なる第２方向に磁気的にバイアスされて、前記論理装置が中止状態である場合に前記複数の磁気入力／チャンネル領域に少なくとも１つの磁壁が存在し、

前記少なくとも１つのセンサーは前記少なくとも１つの磁気センサー領域の磁気状態に基づいて信号を出力し、

前記複数の磁気入力／チャンネル領域及び前記少なくとも１つの磁気センサー領域は、前記複数の磁気入力／チャンネル領域の少なくとも一部へ提供される論理信号に応答して前記少なくとも１つの磁壁が前記少なくとも１つの磁気センサー領域に移動するように構成される方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は電子装置に関し、より詳細にはスピン移動に基づく論理装置を提供するための方法及びシステムに関する。

【背景技術】

【０００２】

論理ゲートはＡＮＤ、ＯＲ、ＮＡＮＤ、及びＮＯＲのような多様な論理演算を遂行するために使用される。一般的に、１つの論理ゲートは１つの論理演算を提供する複数の構成要素で作られる。例えば、ＡＮＤゲートはＡＮＤ演算を提供する構成要素を含む。また、論理装置は多様な特性を有することが要求される。例えば、論理装置は一般的に連鎖的であり、非線形であることが要求される。１つの論理装置の出力が他の論理装置の入力として提供される時、論理装置は連鎖的である。非線形は入力によって２つの状態を有する論理装置の応答に対応する。したがって、論理装置はアナログ情報のデジタル化を許容することができる。また、論理装置はフィードバックフリーであることが要求される。出力が入力として意図的にフィードバックされなければ、論理装置の出力は入力に影響を及ばない。論理装置の利得は回路の供給電圧を利用して充分な出力信号を許容することが要求される。最後に、ブール演算（Ｂｏｏｌｅａｎ　ｏｐｅｒａｔｉｏｎｓ）全体のセットを提供するために特定な技術に基づいた論理装置のセットが要求される。例えば、少なくともＮＯＴ演算及びＡＮＤ演算が要求され得る。他の演算は基本構成要素又はＮＯＴ及びＡＮＤゲートの中で少なくとも１つによって形成され得る。最後に、論理装置は十分に速くて、過渡なエネルギーを消費せず、望まれる集積度に製造可能であることが要求される。

【０００３】

図１は従来の磁気スイッチ１０を示す。従来の磁気スイッチ１０はコンタクト１２、２０、２２、３０、自由レイヤー１４、２４、バリアー１６、１８、２６、２８、分離レイヤー１７、２７、及びチャンネル４０を含む。電圧V_{SUPPLY}の値にしたがって、チャンネル４０の回転が２つの状態の中の１つになる。そして、自由レイヤー２４の磁化は２つの状態の中の１つになる。このような状態は出力電圧V_{OUT}にしたがって決定され得る。したがって、構造物１０はスイッチとして機能する。しかし、従来の磁気スイッチ１０は望まれる特性を有する他の論理ゲートを製造するために容易に使用されない。例えば、従来の磁気スイッチ１０を通じる電流、スイッチング速度、製造の容易性、及び他の課題が従来の磁気スイッチ１０が論理装置で使用されることを阻止する。

【０００４】

したがって、磁気論理ゲートが可能になるようにする方法及びシステムが要求される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

本発明の目的は磁気論理ゲートが可能になるようにする方法及びシステムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

論理装置が開示される。論理装置は磁気入力／チャンネル領域、磁気センサー領域、及び磁気センサー領域に連結されたセンサーを含む。各磁気入力／チャンネル領域は第１方向に磁気的に（ｍａｇｎｅｔｉｃａｌｌｙ）バイアスされる。磁気センサー領域は、論理

装置が中止状態（ｑｕｉｅｓｃｅｎｔ　ｓｔａｔｅ）である場合、少なくとも１つの磁壁（ｄｏｍａｉｎ　ｗａｌｌ）が磁気入力／チャンネル領域に存在するように、第１方向と異なる第２方向に磁気的にバイアスされる。センサーは磁気センサー領域の磁気状態に基づいて信号を出力する。入力／チャンネル領域及び磁気センサー領域は、磁気入力領域の少なくとも一部へ提供される論理信号に応答して、磁壁が磁気センサー領域へ移動するように構成される。“$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$”が提供され、“ｘ＋ｙ＋ｚ＋ｑ１＋ｑ２＝１”であり得る。ｘは０と同一であるか、或いはそれより大きく、ｙは０と同一であるか、或いはそれより大きく、ｚは０と同一であるか、或いはそれより大きく、ｑ１は０と同一であるか、或いはそれより大きく、ｑ２は０と同一であるか、或いはそれより大きく、Ｍ１は非磁性体であり、Ｍ２は非磁性体である。

【発明の効果】

【０００７】

本発明によれば、磁気論理装置を提供するための方法及びシステムが提供される。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】従来の磁気スイッチングを示す。

【図２】磁気論理装置の実施形態を示す。

【図３】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図４】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図５】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図６】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図７】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図８】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図９】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図１０】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図１１】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図１２】磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図１３】論理機能を提供するように構成される磁気論理装置の他の実施形態を示す。

【図１４】論理装置を提供する方法の実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

本発明の実施形態はスピン移動スイッチングを利用する磁気素子に基づいた論理素子に関する。後述される詳細な説明は当該技術分野に通常的な技術を有する者（以下、当業者）が本発明を製造及び使用できるようにするために提供される。本発明の実施形態及び包括的な原理と特徴の多様な応用が可能であることは明白である。本発明の実施形態は具体的な具現例として提供される具体的な方法及びシステムの観点で説明される。しかし、詳細な説明の方法及びシステムは他の具現例によっても効果的に動作することができる。“実施形態”、“一例”、“他の例”、“他の実施形態”の用語は複数の実施形態で同一の又は異なる実施形態を参照することができる。本発明の実施形態は特定な構成要素を有するシステム及び／又は装置を参照して説明される。しかし、システム及び／又は装置は図示されたことより多い又はそれより少ない構成要素を包含でき、本発明の技術的思想から逸脱しないながら、構成要素の配列及びタイプが変更されることができる。本発明の実施形態は特定な段階を有する具体的な方法の観点に説明される。しかし、本発明の方法及びシステムは異なる及び／又は追加的な段階、及び本発明の実施形態と矛盾されない異なる順序の段階で効果的に動作することができる。したがって、本発明は開示された実施形態に限定されなく、ここに開示された原理及び特徴に相応しい最も広い範囲に理解しなければならない。

【００１０】

本発明の実施形態は特定な構成要素を有する具体的な磁気素子を参照して説明される。当業者は、本発明の技術的思想が他の及び／又は追加的な構成要素及び／又は本発明の技

術的思想と矛盾されない異なる特徴を有する磁気素子の利用が本発明の技術的思想に相応しいことを理解することができる。本発明の方法及びシステムがスピン移動現象（ｓｐｉｎ　ｔｒａｎｓｆｅｒ　ｐｈｅｎｏｍｅｎｏｎ）の現在の理解にしたがって説明される。したがって、当業者は、本発明の方法及びシステムの動作の理論的説明がスピン移動の現在の理解に基づくことを理解することができる。また、本発明の方法及びシステムが具体的なレイヤーを有する構造物を参照して説明される。しかし、当業者は、追加的な及び／又は本発明の方法及びシステムと矛盾されない異なるレイヤーを有する構造物が使用されることを理解することができる。また、特定な構成要素は磁気的（ｍａｇｎｅｔｉｃ）、強磁気的（ｆｅｒｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ）、及びフェリ磁気的（ｆｅｒｒｉｍａｇｎｅｔｉｃ）であることと説明される。本発明の詳細な説明で、“磁気的（ｍａｇｎｅｔｉｃ）”は強磁気的（ｆｅｒｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ）、フェリ磁気的（ｆｅｒｒｉｍａｇｎｅｔｉｃ）、又は類似な構造を含む。したがって、詳細な説明で、“磁気的（ｍａｇｎｅｔｉｃ）”又は“強磁気的（ｆｅｒｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ）”は“強磁気的（ｆｅｒｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ）”及び“フェリ磁気的（ｆｅｒｒｉｍａｇｎｅｔｉｃ）”を含むが、これらに限定されない。本発明の方法及びシステムは単一構造物を参照して説明される。しかし、当業者は本発明の方法及びシステムが多重素子の使用にも適用されることを理解することができる。また、ここで、“インプレーン（ｉｎ－ｐｌａｎｅ）”は磁気素子の１つ又はそれ以上のレイヤーのプレーンに平行であるか、或いは実質的に同一の方向に対応する。反対に、“垂直（ｐｅｒｐｅｎｄｉｃｕｌａｒ）”は磁気素子の１つ又はそれ以上のレイヤーと実質的に垂直である方向に対応する。

【００１１】

本発明の詳細な説明で、論理装置を提供するための方法及びシステムが開示される。論理装置は複数の磁気入力／チャンネル領域、少なくとも１つの磁気センサー領域、及び少なくとも１つの磁気センサー領域に連結された少なくとも１つのセンサーを含む。磁気入力／チャンネル領域の各々は第１方向に磁気的にバイアスされる。磁気センサー領域は、論理装置が中止状態（ｑｕｉｅｓｃｅｎｔ　ｓｔａｔｅ）である場合、磁気入力／チャンネル領域に少なくとも１つの磁壁が存在するように第１方向と異なる第２方向に磁気的にバイアスされる。センサーは磁気センサー領域の磁気状態に基づいて信号を出力する。入力／チャンネル領域及び磁気センサー領域は、磁気入力領域の少なくとも一部へ提供される論理信号に応答して磁壁が磁気センサー領域に移動するように構成される。

【００１２】

図２はスピン移動トルク（ｓｐｉｎ　ｔｒａｎｓｆｅｒ　ｔｏｒｑｕｅ）に基づいた論理装置１００の実施形態の平面図及び側面図を示す。具体的に、論理装置は、図２で電極であると称された３つの入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６、センサー１３０、センサー領域１２０、及び接地電極１４０を含む。入力電極１０２、１０４、１０６は電圧Ｖｉ１、Ｖｉ２、Ｖｓを各々入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６へ入力する。電圧Ｖｉは入力電圧に対応し、電圧Ｖｓは入力電極へ提供されるバイアス電圧であり得る。他の例として、異なる数の入力電極が提供されてもよく、及び／又は電圧Ｖｓがバイアス電圧ではない入力電圧であってもよい。また、バイアス電圧を必要とする電極は電極１０４ではない電極１０２又は電極１０６であってもよい。接地電極１４０は論理装置１００を接地に連結し、電流が接地へ流れるようにする。以下で、入力電極１０２、１０４、１０６は各々磁気入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６である。入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の一部また各々の電極１０２、１０４、１０６からセンサー領域１２０へ伸張される。したがって、磁気入力／チャンネル領域は電極の直ちに下の入力領域及びセンサー領域１２０へ伸張されるチャンネル領域に分割されることと考えられることができる。

【００１３】

センサー１３０は非磁気トンネルバリアーレイヤー１３２及び固定レイヤー１３４を含む磁気トンネルジャンクション（ＭＴＪ、Ｍａｇｎｅｔｉｃ　Ｔｕｎｎｅｌｉｎｇ　Ｊｕｎｃｔｉｏｎ）であり得る。センサー領域１２０は磁気トンネルジャンクション１３０の

自由レイヤーとして機能することと見ることができる。したがって、センサー１３０の出力はセンサー領域１２０の磁化方向に沿って変化する。センサー１３０はセンサー領域１２０の磁化方向に敏感である他の構造を有することができる。

【００１４】

センサー１３０及び接地電極１４０の下には磁気センサー領域１２０がある。磁気センサー領域１２０は異なる幅を有する２つの部分１２０Ａ、１２０Ｂを有することができる。入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の磁気モーメントの一部は第１方向に設定され、センサー領域１２０及び入力／チャンネル領域の残りの部分（存在すれば）の磁気モーメントは第２方向に設定され得る。結果的に、論理装置１００が中止状態（ｑｕｉｅｓｃｅｎｔ　ｓｔａｔｅ）である時、磁壁１１３、１１５、１１７が各々の磁気入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６のどこかに存在する。言い換えれば、論理信号が論理装置１００へ提供されない時、磁壁１１３、１１５、１１７が各々の磁気入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６のどこかに存在する。図示された実施形態で、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６は各々の磁壁１１３、１１５、１１７まで上方向に設定され、センサー領域１２０は下方向に設定される。他の例として、磁化方向は異なり得る。例えば、少なくとも部分的に‘インプレーン’である方向が使用され得る。しかし、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の少なくとも一部の磁気モメンタムの初期／中止状態の方向が、センサー領域１２０の磁気モメンタムの方向と異なることが要求される。したがって、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６で、入力電極１０２、１０４、１０６に各々対応する磁壁１１３、１１５、１１７が各々存在する。入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６及びセンサー領域１２０の磁気モーメントは多様な方法で安定化されることができる。例えば、反強磁性体（ａｎｔｉｆｅｒｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ　ｍａｔｅｒｉａｌ、図示せず）が入力電極１０２、１０４、１０６付近の入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の一部分に近接して、及び／又はセンサー領域１２０の一部分に近接して提供され得る。入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６付近の反強磁性体はセンサー領域１２０の付近の反強磁性体と異なるブロッキング温度を有することができる。これは、この領域の磁化方向が異なる温度で異なる方向に設定されるようにする。他の例として、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６及び／又はセンサー領域１０２は多重レイヤー及び／又は多重磁気物質を包含することができる。多重レイヤーは非強磁性体のみならず強磁性体も包含することができる。入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６及び／又はセンサー領域１２０の保磁力（ｃｏｅｒｃｉｖｉｔｙ）は互いに異なり得る。結果的に、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６及びセンサー領域１２０の磁化方向は磁気場を印加することによって設定され得る。しかし、このような領域の磁化方向を初期化するために使用されるメカニズムに関わらず、磁壁移動（ｄｏｍａｉｎ　ｗａｌｌ　ｍｏｔｉｏｎ）が論理装置で要求される。

【００１５】

入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の動作が可能になるようにするために、具体的な物質が使用される。例示的に、単一強磁性合金が使用され得る。例えば、合金は‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’であり、‘ｘ＋ｙ＋ｚ＋ｑ１＋ｑ２＝１’であり得る。また、ｘ、ｙ、ｚ、ｑ１、及びｑ２の各々は０と同一であるか、或いはそれより大きくなり得る。したがって、ｘ、ｙ、ｚ、ｑ１、及びｑ２の各々は０以上であり得る。Ｍ１及びＭ２はＢ、Ｔａ、Ｔｉ、Ｖ、Ｗ、Ｃｒ、Ｒｕ、Ｍｇ、Ａｌ、Ｃｕ、Ｒｂ、Ｍｎ、Ｂｅ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｒｈ、Ｇａ、及びＳｂのような非磁性体であり得る。Ｍ１及びＭ２は互に異なる物質であるか、或いは同一の物質であり得る。このような強磁性合金は、後述されるスイッチングで要求される高いスピン分極（ｈｉｇｈ　ｓｐｉｎ　ｐｏｌａｒｉｚａｔｉｏｎ）を提供することができる。また、このような強磁性合金は、必要である方向性（例えば、インプレーン、垂直プレーン（ｐｅｒｐｅｎｄｉｃｕｌａｒ－ｔｏ－ｐｌａｎｅ）又は他の方向性）のために要求される磁気異方性（ｍａｇｎｅｔｉｃ　ａｎｉｓｏｐｒｏｐｙ）を提供することができる。

【００１６】

‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’が使用される実施形態として、合金のレイヤーは１つ又はそれ以上の非磁性（ｎｏｎｍａｇｎｅｔｉｃ）レイヤーと交差配置（ｉｎｔｅｒｌｅａｖｅ）されることができる。実施形態として、非磁性レイヤーはＢ、Ｔａ、Ｔｉ、Ｖ、Ｗ、Ｃｒ、Ｒｕ、Ｍｇ、Ａｌ、Ｃｕ、Ｒｂ、Ｍｎ、Ｂｅ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｒｈ、Ｇａ、Ｓｂを包含することができる。異なる非磁性レイヤーは異なる物質で形成され得る。例えば、Ｔａレイヤーが２つの‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’レイヤーの間に使用され、他の非磁性レイヤーが他の‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’レイヤーの間に存在することができる。実施形態として、‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’強磁性合金レイヤーの厚さは少なくとも０．２ｎｍであり、３ｎｍより大きくない。実施形態として、強磁性レイヤーは同一の厚さを有してもよく、他の例として厚さが異なっていてもよい。実施形態として、各非磁性レイヤーの厚さは少なくとも０．２ｎｍ乃至２ｎｍであり得る。実施形態として、非磁性レイヤーは同一の厚さを有してもよく、他の例として厚さが異なっていてもよい。実施形態として、強磁性合金レイヤーは少なくとも０．２ｎｍであり、２ｎｍより大きくなく、非磁性レイヤーの厚さは少なくとも０．２ｎｍであり、１ｎｍより大きくないことがあり得る。非磁性体は論理装置の多様な特性を向上させるように選択され得る。例えば、非磁性体はレイヤーの間の強い強磁性カップリングを提供するように選択され得る。このようなレイヤーの間のカップリング（ｉｎｔｅｒｌａｙｅｒ　ｃｏｕｐｌｉｎｇ）は強磁性レイヤーの間で０．１ｅｒｇ／ｃｍ^{2}と同一であるか、或いはそれより大きいカップリング強さ（ｉｎｔｅｒｌａｙｅｒ　ｃｏｕｐｌｉｎｇ　ｓｔｒｅｎｇｔｈ）を有することができる。実施形態として、カップリング強さは０．４ｅｒｇ／ｃｍ^{2}と同一であるか、それより大きくなり得る。

【００１７】

他の例として、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６は多重レイヤー構造を有することができる。例えば、２つの強磁性レイヤーが挿入レイヤーをサンドイッチ形態に囲むことができる（強磁性レイヤー／挿入レイヤー／強磁性レイヤー）。強磁性レイヤーは上述された‘$Fe_xCo_yNi_zM1_{q1}M2_{q2}$’合金で製造され、強くカップリング結合されることが要求され得る。挿入レイヤーはＣｒ、Ｔａ、Ｗ、Ｒｕ、Ｖ、Ｃｕ、Ｍｇ、及びＡｌの中で少なくとも１つ又はそれ以上のような物質を包含することができる。他の例として、多重レイヤーは２つの強磁性レイヤー及び挿入レイヤーをサンドイッチ形態に囲むシード（ｓｅｅｄ）レイヤー及びキャッピング（ｃａｐｐｉｎｇ）レイヤーを包含することができる（シードレイヤー／強磁性レイヤー／挿入レイヤー／強磁性レイヤー／キャッピングレイヤー）。この例で、シードレイヤー及び／又はキャッピングレイヤーは酸化物（ｏｘｉｄｅ）又は窒化物（ｎｉｔｒｉｄｅ）のような絶縁体、又は金属のような導電体であり得る。実施形態として、シードレイヤー及びキャッピングレイヤーは全て絶縁体であり得る（絶縁レイヤー／強磁性レイヤー／挿入レイヤー／強磁性レイヤー／絶縁レイヤー）。他の例として、強磁性レイヤー及び挿入レイヤーをサンドイッチ形態に囲む絶縁シードレイヤー及び導電キャッピングレイヤーが使用され得る（絶縁シードレイヤー／強磁性レイヤー／挿入レイヤー／強磁性レイヤー／導電キャッピングレイヤー）。他の例として、金属合金のような導電シードレイヤー及び絶縁キャッピングレイヤーが使用され得る（導電シードレイヤー／強磁性レイヤー／挿入レイヤー／強磁性レイヤー／絶縁キャッピングレイヤー）。他の例として、導電シード及びキャッピングレイヤーが強磁性レイヤー及び挿入レイヤーをサンドイッチ形態に囲むことができる（導電シードレイヤー／強磁性レイヤー／挿入レイヤー／強磁性レイヤー／導電キャッピングレイヤー）。上述された絶縁レイヤーはＭｇＯ、ＮｉＯ、アルミニウム酸化物、シリコン酸化物、ＡｌＮ、ＳｉＮ、ＴａＮ、ＴｉＮ、RuO_2、及び／又はＩＴＯ（ｉｎｄｉｕｍ　ｔｉｎ　ｏｘｉｄｅ）を含む酸化物又は窒化物を包含できるが、これらに限定されない。上述された合金のように、このような多重レイヤーは必要であるスピン分極（ｓｐｉｎ　ｐｏｌａｒｉｚａｔｉｏｎ）及び磁気異方性を提供することができる。しかし、他の例として、他の及び／又は追加の物質が使用され得る。

【００１８】

論理装置１００は論理演算を遂行するために磁壁移動（ｄｏｍａｉｎ　ｗａｌｌ　ｍｏｔｉｏｎ）を利用する。より詳細には、入力電極１０２、１０４、及び／又は１０６の電圧が入力電極１０２、１０４、及び／又は１０６及び接地電極１４０の間で電流が流れるようにする。電流が磁気入力／チャンネル領域１１２、１１４、及び／又は１１６を横断することにしたがって、電流はスピン分極される。したがって、図２に図示された論理装置で、電流は入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６によって、上方向にスピン分極される。分極された電流からのスピントルクの伝達を通じて、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の磁気モーメントが入力電極１０２、１０４、１０６からチャンネルにしたがって、各々上方向に誘導される。言い換えれば、磁壁１１３、１１５、１１７がセンサー領域１２０に向かって移動する。しかし、論理装置１００の構成によって、磁壁１１３、１１５、１１７は入力電圧によって、センサー１３０を経て移動しない。代わりに、磁壁１１３、１１５、１１７は入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６及びセンサー領域１２０の境界（ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）に又は境界付近に固定され得る。磁壁のエネルギーは一般的に磁壁が占める領域の断面積（ｃｒｏｓｓ　ｓｅｃｔｉｏｎ）に比例する。センサー領域１２０は入力／チャンネル領域１１２、１１４、及び／又は１１６より広い断面積を有する。したがって、磁壁１１３、１１５、１１７は入力チャンネル領域１１２、１１４又は１１６からセンサー領域１２０へ移動するためにさらに大きいエネルギーを必要とする。図示された実施形態で、側面図に示したように、センサー領域１２０は入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の各々より厚い。また、平面図（ｔｏｐ　ｖｉｅｗ）に示したように、センサー領域１２０は各入力／チャンネル領域１１２、１１４又は１１６より広い。しかし、他の構造（ｇｅｏｍｅｔｒｙ）も可能である。最終結果は、センサー領域１２０の断面積が各入力／チャンネル領域１１２、１１４又は１１６の断面積より大きいことである。各磁壁１１３、１１５又は１１７がセンサー領域へ移動することを遅延するために、構造（ｇｅｏｍｅｔｒｙ）に加えて又は構造（ｇｅｏｍｅｔｒｙ）の代わりに、構造（ｇｅｏｍｅｔｒｙ）以外のメカニズムが使用され得る。結果的に、単一電極１０２、１０４又は１０６から単一入力／チャンネル領域１１２、１１４又は１１６を通じて流れるスピン分極された電流によってスピン移動トルクは、磁壁１１３、１１５又は１１７を入力／チャンネル領域１１２、１１４又は１１６からセンサー領域１２０へ移動されるのに十分ではないことがあり得る。さらに大きいエネルギーの磁壁が要求され得る。このような磁壁は多重入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６からの磁壁によって達成され得る。より詳細には、入力電圧Ｖｉ１、Ｖｉ２、Ｖｓを有する入力電極１０２、１０６、１０４からの電流による磁壁の組み合せは、磁壁１１３、１１７、１１５を各々のセンサー領域１２０へ移動させるのに充分なエネルギーを有することができる。磁壁１１３、１１５、１１７の組み合せによって形成された磁壁がセンサー１３０を通過して移動すれば、センサー１３０は低抵抗状態から高抵抗状態に変化する。したがって、入力に基づいて、磁壁１１３、１１５、１１７はセンサー領域１２０移動しないか、又はセンサー１３０を通過して移動することができる。このような２つの磁壁位置はセンサー１３０の異なる状態を示す。したがって、論理装置１００は入力電圧に基づいて出力を提供することができる。

【００１９】

例えば、図３は供給電圧のような電圧が電極１０２のＶｉ１へ印加され、そしてセンサー領域１２０の断面積が入力／チャンネル領域１１２の断面積より大きい時の論理装置１００を示す。したがって、入力／チャンネル領域１１２の磁壁１１３’がセンサー領域１２０及び入力／チャンネル領域１１２の境界（ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）へ移動する。しかし、磁壁１１５、１１７を入力／チャンネル領域１１４、１１６及びセンサー領域１２０の間の境界（ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）へ移動させるのに十分ではない電圧が電極１０４、１０６へ印加される。したがって、感知電流がセンサー１３０を通じて流れる時、センサー１３０は相変わらず低抵抗状態である。結果的に、出力は同様に維持される。出力はセンサー１３０の抵抗又はセンサー１３０へ印加される電圧を読み出すことによって決定され得る。

【００２０】
図４はセンサー領域１２０の断面積が入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の断面積の約２倍より大きくなく、入力電極１０２、１０６に充分な電圧が印加された時の論理装置１００を示す。したがって、スピン分極電流は電極１０２、１０６から入力／チャンネル領域１１２、１１６を通じて流れる。結果的に、磁壁１１３’、１１７はスピン分極電流からのスピン移動トルクによってセンサー領域１２０へ移動する（磁壁１１３’／１１７’を形成）。磁壁１１３’／１１５’はより広い断面積を有するセンサー領域１２０を横断するのに充分であるエネルギーを有する。したがって、図４に示したように、磁壁１１３’／１１７’はセンサー１３０を通るように制御される。センサー１３０のレイヤー１３４の磁化方向がセンサー領域１２０の磁化方向と逆平行（ａｎｔｉｐａｒａｌｌｅｌ）であるので、センサー１３０は高抵抗を有する。したがって、磁壁１１３’／１１７’の位置に基づいて、磁壁１１３’／１１７’がセンサー１３０を経て移動したか否かにしたがって、出力が変化することができる。出力はセンサー１３０の抵抗又は電圧を読み出すことによって決定され得る。

【００２１】
図２乃至図４に図示された論理装置で、電極１０４はロー（ｌｏｗ）にバイアスされる。したがって、電極１０４に対応する入力／チャンネル領域１１４の磁壁１１５はセンサー領域１２０に向かって移動しない。センサー領域１２０の断面積が入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の断面積より大きいので、電極１０２、１０４、１０６の中で少なくとも１つ以上の電極が磁壁１１３、１１５、１１７をセンサー領域１２０へ移動させるためにハイ（ｈｉｇｈ）に駆動される。実施形態として、センサー領域１２０の断面積は入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６の各々の断面積の約２倍であるか、或いはそれより若干小さいことがあり得る。したがって、磁壁１１３、１１５、１１７をセンサー領域１２０へ移動させることができる。図２乃至図４で、論理装置の機能はＡＮＤゲートである。言い換えれば、２つの電極１０２、１０６の両方がハイに駆動されて、センサー１３０の出力が変化され得る。しかし、論理装置１００の機能は電極１４へ印加される電圧及びセンサー領域と各入力領域の断面積との間の関係（又は磁壁動作を遅延する他のメカニズム）に基づいて変化され得る。

【００２２】
例えば、図５は論理装置１００と類似な論理装置１００’を示す。したがって、論理装置１００’は、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６、磁壁１１３／１１３’、１１５、１１７／１１７’、電極１０２、１０４、１０６、２つの部分１２０Ａ、１２０Ｂを有するセンサー領域１２０、レイヤー１３２、１３４を有するセンサー１３０、及び接地電極１４０に各々対応する入力／チャンネル領域１１２’、１１４’、１１６’、磁壁１１３’’、１１５’、１１７’’、電極１０２’、１０４’、１０６’、２つの部分１２０Ａ’、１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０’、センサー１３０’、及び接地電極１４０’を含む。論理装置１００’の構成要素は論理装置１００と同一／類似な物質で製造され得る。したがって、論理装置１００’で、センサー領域１２０’の断面積は入力／チャンネル領域１１２’、１１４’、１１６’各々の断面積より大きくて、入力／チャンネル領域１１２’、１１４’、１１６’各々の断面積の約２倍より大きくない。言い換えれば、入力／チャンネル領域１１２’、１１４’、１１６’の中で少なくとも２つを通じて流れるスピン分極電流からのスピン移動は、磁壁１１３’’、１１５’、１１７’’を各々の入力／チャンネル領域１１２’、１１４’、１１６’からセンサー１３０’を経てセンサー領域１２０’へ移動させ得る。図示された実施形態で、電極１０４’はハイにバイアスされ、電極１０４’に対応する磁壁１１５’はセンサー領域１２０’及び入力／チャンネル領域１１４’の境界（ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）へ移動する。しかし、図５に示したように、残る電極１０２’、１０６’は中止状態（ｑｕｉｅｓｃｅｎｔ　ｓｔａｔｅ、ハイにバイアスされない状態）であり、磁壁１１３’’、１１７’’は入力／チャンネル領域１１２’、１１６’に各々維持される。

【００２３】

図６はハイ入力が電極１０２’へ提供された後の論理装置１００’を示す。図６の動作は電極１０６’へハイ入力が提供された時と類似である。電極１０２’へのハイ入力は磁壁１１３’’を入力／チャンネル領域１１２’にしたがって移動させる。磁壁１１３’’のエネルギーは磁壁１１５’のエネルギーと結合される。この結合は磁壁１１３’’、１１５’をセンサー領域１２０’へ移動させる。したがって、磁壁１１３’’’／１１５’’はセンサー１３０’を通過して移動したことを図示している。磁壁１１３’’’／１１５’’の動作はセンサー１３０’の状態の変化をもたらす。したがって、論理装置１００’は電極１０４’がハイにバイアスされた場合、ＯＲとして機能する。電極１０２’、１０４’、１０６’は相互交換可能である。図２乃至図４に示したように電極１０４がローにバイアスされて磁壁１１５が入力／チャンネル領域１１４に残っている場合、電極１０２、１０４の全てにハイが入力される時のみに磁壁１１３’／１１７’が入力／チャンネル領域１１２、１１６にしたがって移動する。電極１０２、１０６の全てへハイが入力される時のみにセンサー１３０の状態の変化が発生することができる。したがって、図２乃至図４に図示された論理装置１００は電極１０４がローにバイアスされた場合にＡＮＤゲートとして動作する。図５乃至図６に示したように電極１０４’がハイにバイアスされて磁壁１１５’がセンサー領域１２０’の境界（ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）へ移動した場合、電極１０２’のみへハイが入力させるか、電極１０４’のみへハイが入力させるか、又は電極１０２’、１０４’の全てへハイが入力される時に、磁壁１１３’’又は１１７’’が入力／チャンネル領域１１２’にしたがって移動する。磁壁１１３’’又は１１７’’と磁壁１１５’との組み合せはセンサー領域１２０’へ移動することができる。したがって、電極１０２’、１０６’の中で少なくとも１つ又は２つのモードにハイが入力されれば、センサー１３０’の状態が変化する。したがって、図５及び図６に図示された論理装置１００’は電極１０４がハイにバイアスされた場合にＯＲゲートとして動作する。したがって、論理装置１００の機能は電極１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’の中で少なくとも１つへ印加されるバイアス電圧に基づいて変化され得る。

【００２４】

本発明の実施形態による論理装置の真理表が下の表１に記載される。出力Ｖｏｕｔはセンサーで感知された抵抗に対応する。したがって、入力／チャンネル領域の断面積と比較したセンサー領域の断面積のサイズに基づいて、そしてＶｓ電極へ提供されるバイアスに基づいて、図２乃至図６に図示された論理装置は多様な論理演算を提供するように構成されることができる。したがって、スピン移動トルクに基づく装置は論理装置として使用され得る。

【００２５】

【表１】

ゲートタイプ	Ｖｓ	Ｖｉ１	Ｖｉ２	Ｖｏｕｔ
ＡＮＤ	0	0	0	0
ＡＮＤ	0	1	0	0
ＡＮＤ	0	0	1	0
ＡＮＤ	0	1	1	1
ＯＲ	1	0	0	0
ＯＲ	1	1	0	1
ＯＲ	1	0	1	1
ＯＲ	1	1	1	1

【００２６】

図２乃至図６に図示された論理装置１００／１００’がプログラムされた後、リセットさせることができる。例えば、論理装置１００／１００’をプログラムするために使用された電流と反対方向に駆動される電流が論理装置１００／１００’をリセットできる。反対方向に駆動される電流は図４及び図６に図示された磁壁１１３’／１１７’又は１１３

’’’／１１５’’の右側のセンサー領域１２０／１２０’の部分によってスピン分極され得る。したがって、磁壁が移動され得る。センサー領域１２０／１２０’の断面積が入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’の各々の断面積より大きいので、磁壁がセンサー領域１２０／１２０’から入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’へ移動する時、磁壁は止まらない。したがって、磁壁は入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’へ後退し、論理装置１００／１００’は再び初期化される。他の例として、反強磁性体（ａｎｔｉｆｅｒｒｏｍａｇｎｅｔｉｃ　ｍａｔｅｒｉａｌ）が入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’及びセンサー領域１２０／１２０’をバイアスするために使用された場合、入力電圧の除去は、即ち磁壁をセンサー領域１２０／１２０’へ移動させるための磁極の除去は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’及びセンサー領域１２０／１２０’を磁化して初期状態に戻すことができる。したがって、電流又は外部磁気場を利用する再初期化が不必要である。

【００２７】

実施形態として、チャンネルの幅は約１００ｎｍ又はそれ以上であり得る。したがって、論理装置１００／１００’は小さく製造され得る。また、磁壁の移動は相対的に速いことがあり得る。実施形態として、磁壁１１３’／１１７’又は１１３’’’／１１５’’がセンサーを通った位置に移動するための時間は１００ｎｓ又はそれより少ないことがあり得る。実施形態として、磁壁１１３’／１１７’又は１１３’’’／１１５’’を移動させるための時間は１０ｎｓより小さいことがあり得る。実施形態として、磁壁１１３’／１１７’又は１１３’’’／１１５’’が移動するのに要求される時間は５ｎｓと同一であるか、或いはそれより少ないことがあり得る。また、実施形態として、論理演算のために要求されるエネルギー、即ち論理装置１００／１００’を通じて駆動される電流によって消費されるエネルギーは1×10^{-17}ジュール（ｊｏｕｌｅｓ）、即ち１０アトジュール（ａＪｏｕｌｅｓ）より大きくないことがあり得る。実施形態として、必要であるエネルギーは演算当たり６．２５アトジュールより大きくないことがあり得る。また、論理装置１００／１００’の出力はセンサー１３０／１３０’の抵抗に基づいて決定される。例えば、予め公知された電流がセンサー１３０／１３０’を通じて提供され（例えば、公知された電圧がセンサー１３０／１３０’へ印加され）、そしてセンサー１３０／１３０’の電圧が測定され得る。センサー１３０／１３０’を通じて流れる電流は磁壁を移動させるために必要である電流より非常に少ないことがあり得る。例えば、チャンネルを通った電流は“$I_i=V_i/R_{input\ region}$”であり得る。磁気入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’が金属であるので、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’の抵抗は小さい。即ち、磁壁を移動させるために使用される電流は大きい。反対に、センサーを通じて流れる電流は“$I_{Read}=V_{Read}/R_{MTJ}$”である。一般的に、センサー１３０／１３０’の抵抗は相対的に高くて、V_{Read}は相対的に低く設定され得る。したがって、読出しの時に論理装置１００／１００’を通じて流れる電流は磁壁を移動させるのに十分ではないことがあり得る。結果的に、読出し出力は入力に影響を及ばない。したがって、意図しなかったフィードバックが除去される。論理装置１００／１００’は、例えばセンサー１３０／１３０’の抵抗及び／又はセンサー１３０／１３０’を流れる電流を設定することによって、必要な利得（ｇａｉｎ）を有することができる。論理装置１００／１００’は非線形であり得る。言い換えれば、高抵抗又は低抵抗状態の中で少なくとも１つがセンサー１３０／１３０’の一側又は他側の磁壁によって達成され得る。後述されるように、論理装置１００／１００’は他の論理装置に連結されてもよく、論理装置１００／１００’の出力は他の論理装置の入力として使用されてもよい。また、ブール演算の全体セットがＡＮＤ及びＯＲ装置によって形成され得る。結果的に、スピン移動トルクに基づく論理装置のセットが提供され得る。

【００２８】

図７は論理装置１００’’の他の実施形態を示す。論理装置１００’’は論理装置１００、１００’と類似であり、したがって、同一の又は類似な物質を含む。したがって、論理装置１００’’は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’、磁壁１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１５／１１５’／１１５’’、１１７／１１７’／１１７’’、電極１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、２つの部分１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０／１２０’、レイヤー１３２／１３２’、１３４／１３４’を有するセンサー１３０／１３０’、及び接地電極１４０／１４０’に各々対応する入力／チャンネル領域１１２’’、１１４’’、１１６’’、磁壁１１３’’’、１１５’’’、１１７’’’、電極１０２’’、１０４’’、１０６’’、２つの部分１２０Ａ’’、１２０Ｂ’’を有するセンサー領域１２０’’、及び接地電極１４０’’を含む。したがって、論理装置１００’’で、センサー領域１２０’’の断面積は入力／チャンネル領域１１２’’、１１４’’、１１６’’の各々の断面積より大きくて、入力／チャンネル領域１１２’’、１１４’’、１１６’’の各々の断面積の約２倍より大きくない。言い換えれば、入力／チャンネル領域１１２’’、１１４’’、１１６’’の中で少なくとも２つを通じて流れるスピン分極電流からのスピン移動は、磁壁１１３’’’、１１５’’’、１１７’’’を各々の入力／チャンネル領域１１２’’、１１４’’、１１６’’からセンサー１３０’’を経てセンサー領域１２０’’へ移動させ得る。図示された実施形態で、電極１０４’’はハイにバイアスされ、電極１０４’’に対応する磁壁１１５’’はセンサー領域１２０’’及び入力／チャンネル領域１１４’’の境界（ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）へ移動する。しかし、図７に示したように、残る電極１０２’’、１０６’’は中止状態（ｑｕｉｅｓｃｅｎｔ　ｓｔａｔｅ、ハイにバイアスされない状態）であり、磁壁１１３’’’、１１７’’’は入力／チャンネル領域１１２’’、１１６’’に各々維持される。

【００２９】

論理装置１００’’で、入力チャンネル領域１１２’’、１１４’’、１１６’’、センサー領域１２０’’及びセンサー１３０’’はインプレーンに磁気的にバイアスされる。しかし、論理装置１００’’の機能は論理装置１００／１００’の機能と類似である。したがって、電極１０４’’へ印加されるバイアス電圧に基づいて、論理装置１００’’はＡＮＤ及びＯＲ論理機能のような異なる機能を有することができる。したがって、論理装置１００’’は論理装置１００／１００’の長所を共有することができる。

【００３０】

図８はスピン移動トルクに基づいた論理装置２００の他の例を示す。論理装置２００は論理装置１００、１００’と類似であり、したがって、同一の又は類似な物質を包含することができる。したがって、論理装置２００は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’、磁壁１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１５／１１５’／１１５’’、１１７／１１７’／１１７’’、電極１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、２つの部分１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０／１２０’、レイヤー１３２／１３２’、１３４／１３４’を有するセンサー１３０／１３０’、及び接地電極１４０／１４０’に各々対応する入力／チャンネル領域２１２、２１４、２１６、磁壁２１３、２１５、２１７、電極２０２、２０４、２０６、２つの部分２２０Ａ、２２０Ｂを有するセンサー領域２２０、レイヤー２３２及び２３４を有するセンサー２３０、及び接地電極２４０を含む。したがって、構成要素２０２、２０４、２０６、２１２、２１３、２１４、２１５、２１６、２１７、２２０、２２０Ａ、２２０Ｂ、２３０、２４０の構造及び機能は各々の構成要素１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、１１２／１１２’、１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１４／１１４’、１１５／１１５’／１１５’’、１１６／１１６’、１１７／１１７’／１１７’’、１２０／１２０’、１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’、１３０／１３０’、１４０／１４０’の構造及び機能と類似であり得る。しかし、平面図に示したように、論理装置２００のセンサ

ー領域２２０は異なる方法に磁化された２つの領域（第１センサー領域２２０Ａ及び第２センサー領域２２０Ｂ）を含む。第２センサー領域２２０Ｂは第１センサー領域２２０Ａと実質的に同一の厚さを有し、さらに広い幅を有することができる。したがって、第２センサー領域２２０Ｂは第１センサー領域２２０Ａと異なる、さらに広い断面積を有する。断面積の差異は、センサー領域２２０へ移動し、第１センサー領域２２０Ａを通過する磁壁が第２センサー領域２２０Ｂを通過するのに充分なエネルギーを有しないように設定され得る。したがって、磁壁は接地電極２４０の下部の領域へ進入しない。また、３つの入力／チャンネル領域２０２、２０４、２０６が図示されているが、図８の論理装置２００は異なる数の入力／チャンネル領域を有していてもよく、図２乃至図７に図示された論理装置１００、１００’と異なる論理演算を提供することができる。図８に図示された論理装置２００は図２乃至図７に図示された論理装置１００、１００’の１つ又はそれ以上の長所を有することができる。これに加えて、磁壁が接地電極の下部へ移動することが防止され得る。

【００３１】

図９はスピン移動トルクに基づいた論理装置３００の他の例を示す。論理装置３００は論理装置１００、１００’と類似であり、したがって、同一の又は類似な物質を含む。したがって、論理装置３００は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’、磁壁１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１５／１１５’／１１５’’、１１７／１１７’／１１７’’、電極１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、２つの部分１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０／１２０’、レイヤー１３２／１３２’、１３４／１３４’を有するセンサー１３０／１３０’、及び接地電極１４０／１４０’に各々対応する入力／チャンネル領域３１２、３１４、３１６、磁壁３１３、３１５、３１７、電極３０２、３０４、３０６、２つの部分３２０Ａ、３２０Ｂを有するセンサー領域３２０、レイヤー３３２及び３３４を有するセンサー３３０、及び接地電極３４０を含む。したがって、構成要素３０２、３０４、３０６、３１２、３１３、３１４、３１５、３１６、３１７、３２０、３２０Ａ、３２０Ｂ、３３０、３４０の構造及び機能は各々の構成要素１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、１１２／１１２’、１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１４／１１４’、１１５／１１５’／１１５’’、１１６／１１６’、１１７／１１７’／１１７’’、１２０／１２０’、１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’、１３０／１３０’、１４０／１４０’の構造及び機能と類似であり得る。３つの入力／チャンネル領域３０２、３０４、３０６が図示されているが、論理装置３００は異なる数の入力／チャンネル領域を有していてもよく、図２乃至図７に図示された論理装置１００、１００’と異なる論理演算を提供することができる。しかし、示したように、センサー領域３２０の厚さは、センサー３３０の領域においてより大きい。したがって、センサー領域３２０Ｃは増加された厚さを有する。図９に図示された論理装置３００は論理装置１００、１００’、１００’’、２００の１つ又はそれ以上の長所を有してもよく、論理装置１００、１００’、１００’’、２００と組合され得る。

【００３２】

図１０はスピン移動トルクに基づいた論理装置４００の他の例を示す。論理装置４００は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’及び１１６／１１６’、磁壁１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’及び１１７／１１７’／１１７’’、電極１０２／１０２’及び１０６／１０６’、２つの部分１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０／１２０’、レイヤー１３２／１３２’、１３４／１３４’を有するセンサー１３０／１３０’、及び接地電極１４０／１４０’に各々対応する入力／チャンネル領域４１２及び４１６、磁壁４１３及び４１７、電極４０２及び４０６、２つの部分４２０Ａ、４２０Ｂを有するセンサー領域４２０、レイヤー４３２及び４３４を有するセンサー４３０、及び接地電極４４０を含む。したがって、構成要素４０２、４０６、４１２、４１３、４１６、４１７、４２０、４２０Ａ、４２０Ｂ、４３０、４４０の構造及び機能は各々の構成要素１０２／１０２’、１０６／１０６’、１１２／１１２’、１

１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１６／１１６’、１１７／１１７’／１１７’’、１２０／１２０’、１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’、１３０／１３０’、１４０／１４０’の構造及び機能と類似であり得る。しかし、図示された論理装置４００は異なる数の入力／チャンネル領域を有していてもよく、したがって、異なる数の電極を有することができる。より詳細には、論理装置４００は２つの入力／チャンネル領域４１２、４１６及びこれに対応する２つの電極４０２、４０６のみを含む。実施形態として、センサー領域４２０が入力／チャンネル領域４１２、４１６各々の断面積より大きくて、入力／チャンネル領域４１２、４１６の断面積の合計より大きくない断面積を有する時、論理装置４００はＡＮＤ装置に機能することができる。論理装置４００は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００の中で少なくとも１つ又はそれ以上の長所を有してもよく、論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００の中で少なくとも１つ又はそれ以上と組合され得る。他の例として、異なる数の入力／チャンネル領域が使用されてもよく、及び／又は他の論理演算を遂行することができる。

【００３３】

図１１はスピン移動トルクに基づいた論理装置５００の他の例を示す。論理装置５００は論理装置１００、１００’と類似であり、したがって、同一の又は類似な物質を含む。したがって、論理装置５００は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’、磁壁１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１５／１１５’／１１５’’、１１７／１１７’／１１７’’、電極１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、２つの部分１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０／１２０’、レイヤー１３２／１３２’、１３４／１３４’を有するセンサー１３０／１３０’、及び接地電極１４０／１４０’に各々対応する入力／チャンネル領域５１２、５１４、５１６、磁壁５１３、５１５、５１７、電極５０２、５０４、５０６、２つの部分５２０Ａ、５２０Ｂを有するセンサー領域５２０、レイヤー５３２及び５３４を有するセンサー５３０、及び接地電極５４０を含む。したがって、構成要素５０２、５０４、５０６、５１２、５１３、５１４、５１５、５１６、５１７、５２０、５２０Ａ、５２０Ｂ、５３０、５４０の構造及び機能は各々の構成要素１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、１１２／１１２’、１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１４／１１４’、１１５／１１５’／１１５’’、１１６／１１６’、１１７／１１７’／１１７’’、１２０／１２０’、１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’、１３０／１３０’、１４０／１４０’の構造及び機能と類似であり得る。３つの入力／チャンネル領域５１２、５１４、５１６を有することが図示されているが、論理装置５００は異なる数の入力／チャンネル領域を有していてもよく、及び／又は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００と異なる論理演算を提供することができる。

【００３４】

論理装置５００は第２センサーを含む。示したように、センサー領域５２０の厚さはセンサー５３０、５５０の領域においてより大きくなり得る。したがって、示したように、領域５２０Ｃ、５２０Ｄが図示される。しかし、他の例として、センサー領域５２０の厚さはセンサーの下部で変化しないこともあり得る。論理装置５００は磁壁移動を利用してプログラムされることができる。また、論理装置５００は磁壁がセンサー５３０及びセンサー５５０の間に捕獲（ｔｒａｐ）されるように構成されることができる。センサー５５０の抵抗はセンサー５３０の抵抗が変化されても変化しないことがあり得る。したがって、このような構成はセンサー５５０を利用してセンサー５３０の自己参照（ｓｅｌｆ　ｒｅｆｅｒｅｎｃｉｎｇ）を許容することができる。磁壁がセンサー５５０を通過して移動することを許容することを含む他の機能がまた可能である。論理装置５００は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００の中で少なくとも１つ又はそれ以上の長所を有してもよく、論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００の中で少なくとも１つ又はそれ以上と組合され得る。また、論理装置５００は磁気参照読出しスキーム（ｓｅｌｆ－ｒｅｆｅｒｅｎｃｉｎｇ　ｒｅａｄ　ｓｃｈｅｍｅ）を許

容することができる。

【００３５】

図１２はスピン移動トルクに基づいた論理装置６００の他の例を示す。論理装置６００は論理装置１００、１００’と類似であり、したがって、同一の又は類似な物質を含む。したがって、論理装置６００は、入力／チャンネル領域１１２／１１２’、１１４／１１４’、１１６／１１６’、磁壁１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１５／１１５’／１１５’’、１１７／１１７’／１１７’’、電極１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、２つの部分１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’を有するセンサー領域１２０／１２０’、レイヤー１３２／１３２’、１３４／１３４’を有するセンサー１３０／１３０’、及び接地電極１４０／１４０’に各々対応する入力／チャンネル領域６１２、６１４、６１６、磁壁６１３、６１５、６１７、電極６０２、６０４、６０６、２つの部分６２０Ａ、６２０Ｂを有するセンサー領域６２０、レイヤー６３２及び６３４を有するセンサー６３０、及び接地電極６４０を含む。したがって、構成要素６０２、６０４、６０６、６１２、６１３、６１４、６１５、６１６、６１７、６２０、６２０Ａ、６２０Ｂ、６３０、６４０の構造及び機能は各々の構成要素１０２／１０２’、１０４／１０４’、１０６／１０６’、１１２／１１２’、１１３／１１３’／１１３’’／１１３’’’、１１４／１１４’、１１５／１１５’／１１５’’、１１６／１１６’、１１７／１１７’／１１７’’、１２０／１２０’、１２０Ａ／１２０Ａ’、１２０Ｂ／１２０Ｂ’、１３０／１３０’、１４０／１４０’の構造及び機能と類似であり得る。３つの入力／チャンネル領域６１２、６１４、６１６を有することが図示されているが、論理装置６００は異なる数の入力／チャンネル領域を有していてもよく、論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００と異なる論理演算を提供することができる。また、論理装置６００は第２接地電極６５０を含む。第２接地電極６５０はセンサー６３０を読み出す時に使用され得る。具体的に、センサー６３０を流れる読出し電流は接地電極６４０の代わりに第２接地電極６５０へ流れ得る。論理装置６００で、接地電極６４０に向かって流れる少なくスピン分極された電流が存在することができる。したがって、読出し動作の時に、磁壁を意図せずに移動させる可能性が減少される。論理装置６００は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００の中で少なくとも１つ又はそれ以上の長所を有していてもよく、論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００の中で少なくとも１つ又はそれ以上と組合され得る。また、第２接地電極６５０の位置は、論理装置６００を意図しないようにプログラムする可能性を減少させるように選択され得る。

【００３６】

図１３は論理装置７１０、７２０、７３０が連結された論理構成要素７００の例を示す。論理装置７１０、７２０、７３０は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００、６００の中で少なくとも１つ又はそれ以上に対応することができる。図１３に示したように、論理装置７１０、７２０の出力（センサー７１２及びセンサー７２２の出力）は論理装置７３０の入力電極７３２、７３４へ提供され得る。図示しないが、追加的な回路が論理装置７１０、７２０の出力及び論理装置７３０の入力７３２、７３４の間へ提供され得る。例えば、増幅器及び／又は他の回路がセンサー７１２、７２２及び入力７３２、７３４の間へ各々包含され得る。しかし、図１３に示したように、論理装置７１０、７２０の出力７１２、７２２は各々の論理装置７３０の入力７３２、７３４を駆動するために使用され得る。論理装置７３０の出力７３４はまた同様に、他の論理装置（図示せず）の入力を駆動するために使用され得る。したがって、スピン移動トルクに基づいた論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００、６００、７１０、７２０、７３０は連鎖的に構成されることができる。

【００３７】

図１４は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００、６００、７１０、７２０、及び／又は７３０のような論理装置を提供するための方法８００の例を示す。説明を簡単にするために、一部段階は省略されてもよく、組合されてもよ

く、交差遂行されてもよく、及び／又は他の順序に遂行されることができる。方法８００は論理装置１００の観点で説明される。しかし、方法８００は論理装置１００、１００’、１００’’、２００、３００、４００、５００、６００、７１０、７２０、及び／又は７３０のような他の論理装置を製造するために使用され得る。また、方法８００は論理装置１００を製造する観点で説明される。しかし、多重論理装置が実質的に並列的に製造され得る。また、別個の段階として説明されたが、方法８００の一部は交差遂行されることができる。最後に、方法８００の段階は一般的に多重の下位段階を包含することができる。

【００３８】

８０２段階を通じて、磁気入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６が提供される。８０２段階は電極１０２、１０４、１０６を提供することのみならず、入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６を磁気的にバイアスすることを包含することができる。実施形態として、８０２段階は入力／チャンネル領域１１２、１１４、１１６のレイヤーを室温より高い温度で蒸着することを包含することができる。実施形態として、磁気論理装置１００はインシッツアニーリング（ｉｎ－ｓｉｔｕ　ａｎｎｅａｌｉｎｇ）されることができる。この例で、高温蒸着はアニーリングと組合され得る。実施形態として、高温蒸着及び／又はアニーリングは少なくとも１００℃でそして７００℃より高くない温度で遂行することができる。この例で、温度は少なくとも２００℃であり、４００℃より高くないことがあり得る。実施形態として、アニーリングは磁気論理装置１００の製造の後に遂行することができる。８０４段階で、磁気センサー領域１２０が提供される。８０４段階はセンサー領域１２０をバイアスし、センサー領域１２０をパターニングし、そしてセンサー領域１２０の目標断面積を形成することを包含することができる。８０６段階で、磁気センサー領域１２０に対応する磁気センサー１３０が提供される。装置当たり１つより多いセンサーが提供される例で、８０６段階は多重センサーを形成することができる。また、接地電極及び他の電極がまた提供され得る。したがって、論理装置１００が製造される。

【００３９】

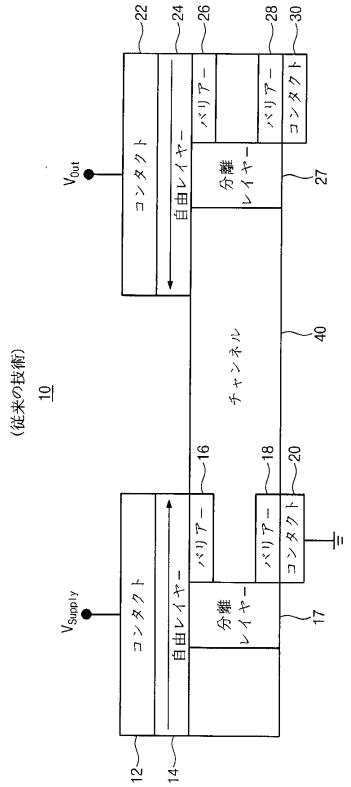
スピン移動トルクに基づく磁気論理装置を提供する方法及びシステムが説明された。方法及びシステムは例示的な実施形態によって説明され、当業者は実施形態の変形が可能であり、このような変形は本発明の方法及びシステムの範囲に属することを理解しなければならない。例えば、図２乃至図１３に図示された論理装置の中で少なくとも１つ又はそれ以上の特徴を含む多様な組合が使用され得る。したがって、添付された請求項の範囲から逸脱しないながら、当業者によって多様な応用が遂行することができる。

【符号の説明】

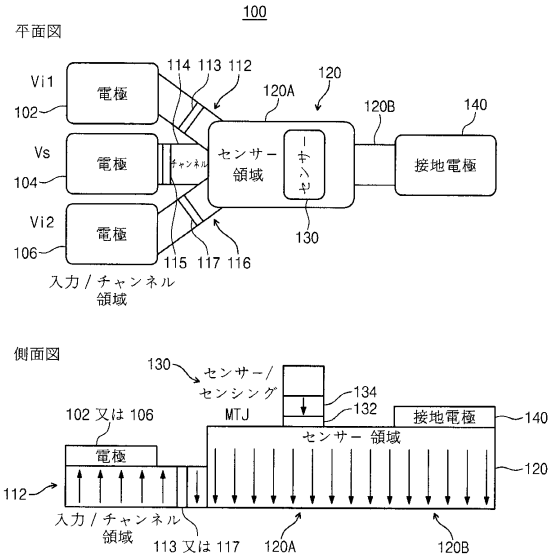
【００４０】

１００・・・論理装置
１０２、１０４、１０６・・・入力電極
１１２、１１４、１１６・・・入力／チャンネル領域
１１３、１１５、１１７・・・磁壁
１２０・・・センサー領域
１３０・・・センサー
１４０・・・接地電極

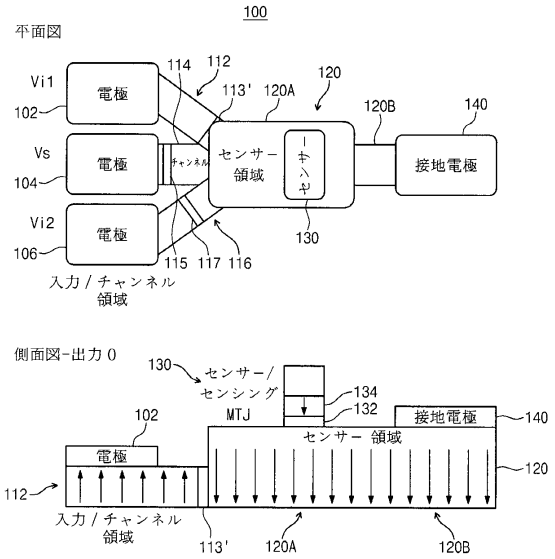
【図１】


(従来の技術)
10
コンタクト
自由レイヤー
バリアー
分離レイヤー
バリアー
コンタクト
チャンネル
コンタクト
自由レイヤー
バリアー
バリアー
コンタクト
分離レイヤー
V_{out}
V_{Supply}
22
24
26
28
30
27
40
16
18
20
17
12
14

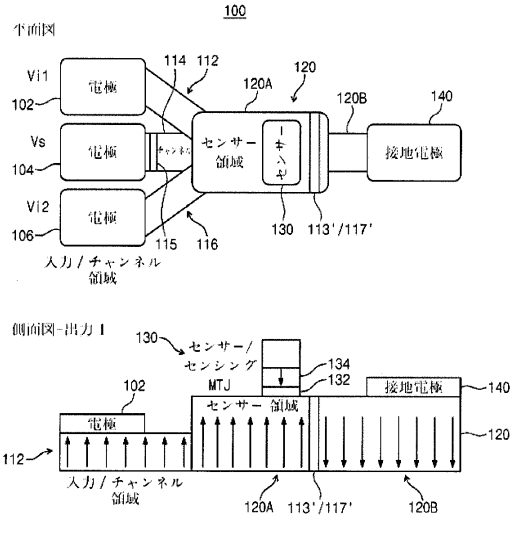
【図２】


100
平面図
Vi1
102
電極
Vs
104
電極
Vi2
106
電極
114 113 112
120A
120
120B
140
センサー領域
センサー
接地電極
130
115 117 116
入力/チャンネル領域
側面図
130
センサー/センシング
134
132
102 又は 106
MTJ
接地電極
140
センサー 領域
電極
120
112
入力/チャンネル領域
113 又は 117
120A
120B

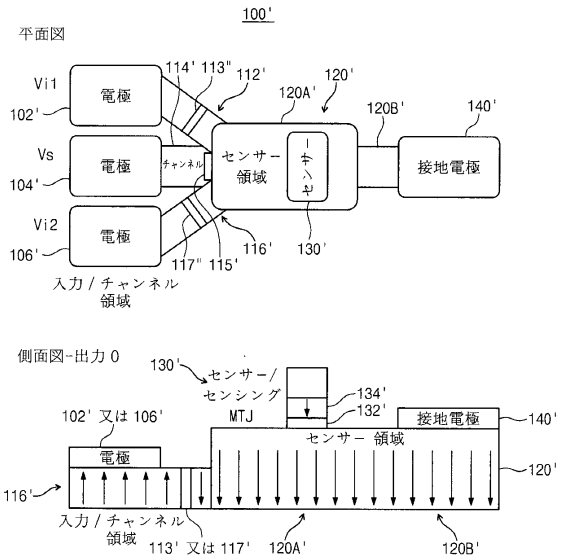
【図３】


100
平面図
Vi1
102
電極
Vs
104
電極
Vi2
106
電極
114
112
113'
120A
120
120B
140
センサー領域
センサー
接地電極
130
115 117 116
入力/チャンネル領域
側面図-出力0
130
センサー/センシング
134
132
102
MTJ
接地電極
140
センサー 領域
電極
120
112
入力/チャンネル領域
113'
120A
120B

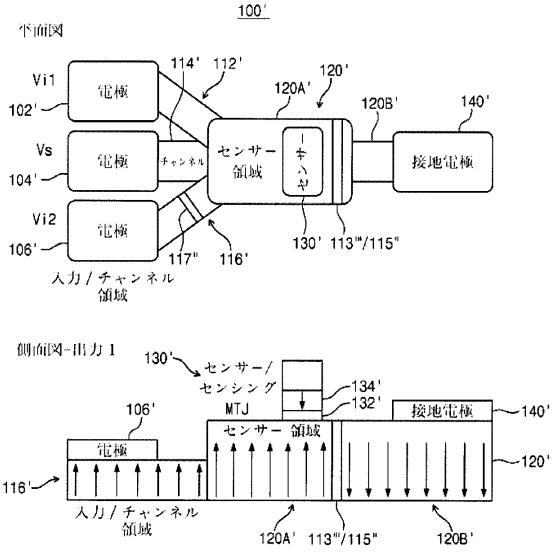
【図４】


100
平面図
Vi1
102
電極
Vs
104
電極
Vi2
106
電極
114 112
120A
120
120B
140
センサー領域
センサー
接地電極
130
113'/117'
115
116
入力/チャンネル領域
側面図-出力1
130
センサー/センシング
134
132
102
MTJ
接地電極
140
センサー 領域
電極
120
112
入力/チャンネル領域
120A
113'/117'
120B

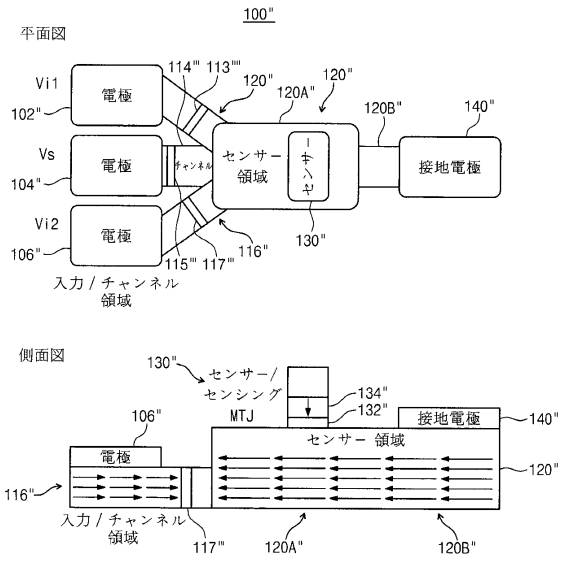
【図５】


100'
平面図
Vi1
102'
電極
114' 113" 112'
120'
120A'
120B'
140'
Vs
104'
電極
チャンネル
センサー領域
センサー
接地電極
Vi2
106'
電極
117" 115'
116'
130'
入力/チャンネル領域
側面図-出力0
130'
センサー/センシング
134'
132'
102' 又は 106'
MTJ
接地電極
140'
センサー 領域
電極
120'
116'
入力/チャンネル領域
113' 又は 117'
120A'
120B'

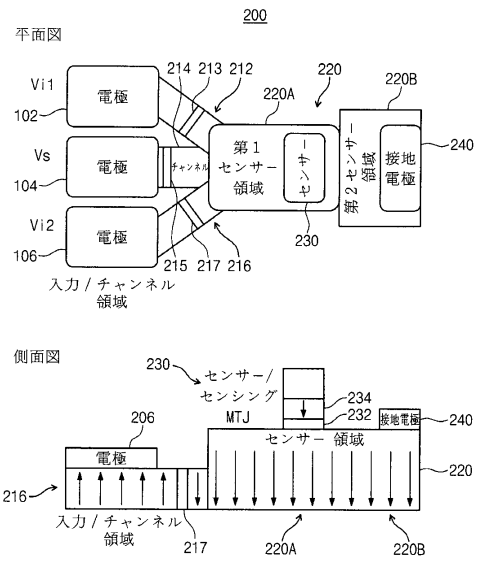
【図６】


100'
平面図
Vi1
102'
電極
114' 112'
120'
120A'
120B'
140'
Vs
104'
電極
チャンネル
センサー領域
センサー
接地電極
Vi2
106'
電極
117"
116'
130' 113'"/115"
入力/チャンネル領域
側面図-出力1
130'
センサー/センシング
134'
132'
106'
MTJ
接地電極
140'
センサー 領域
電極
120'
116'
入力/チャンネル領域
120A'
113'"/115"
120B'

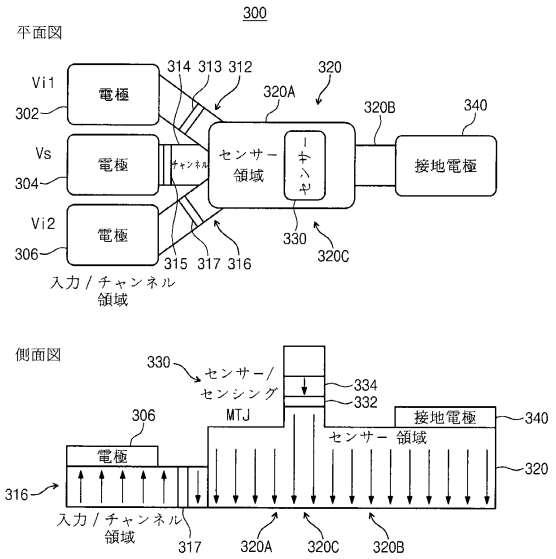
【図７】


100"
平面図
Vi1
102"
電極
114"" 113""
120"
120A"
120B"
140"
Vs
104"
電極
チャンネル
センサー領域
センサー
接地電極
Vi2
106"
電極
115"" 117""
116"
130"
入力/チャンネル領域
側面図
130"
センサー/センシング
134"
132"
106"
MTJ
接地電極
140"
センサー 領域
電極
120"
116"
入力/チャンネル領域
117""
120A"
120B"

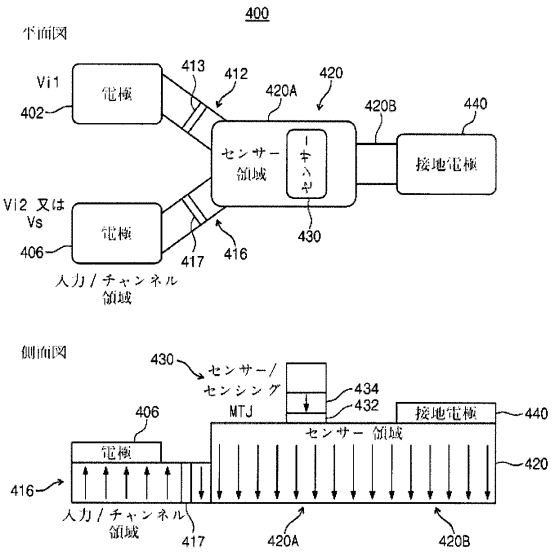
【図８】


200
平面図
Vi1
102
電極
214 213 212
220
220A
220B
Vs
104
電極
チャンネル
第1センサー領域
センサー
第2センサー領域
接地電極
240
Vi2
106
電極
215 217 216
230
入力/チャンネル領域
側面図
230
センサー/センシング
234
232
206
MTJ
接地電極
240
センサー 領域
電極
220
216
入力/チャンネル領域
217
220A
220B

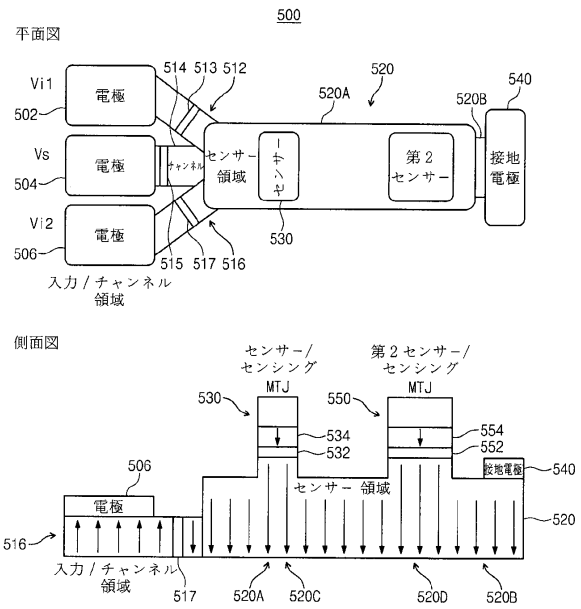
【図９】



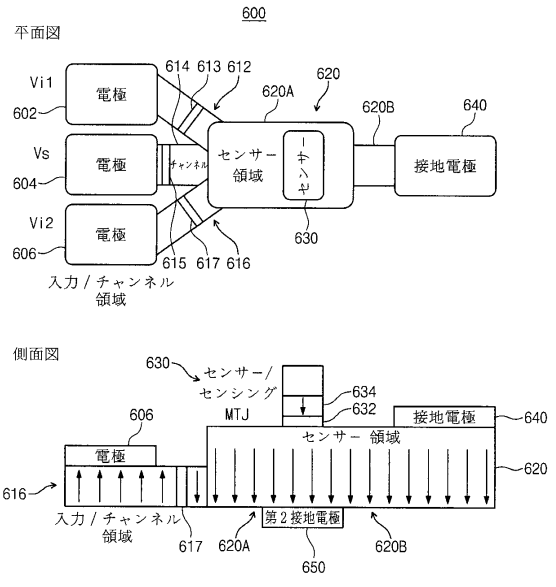
【図１０】



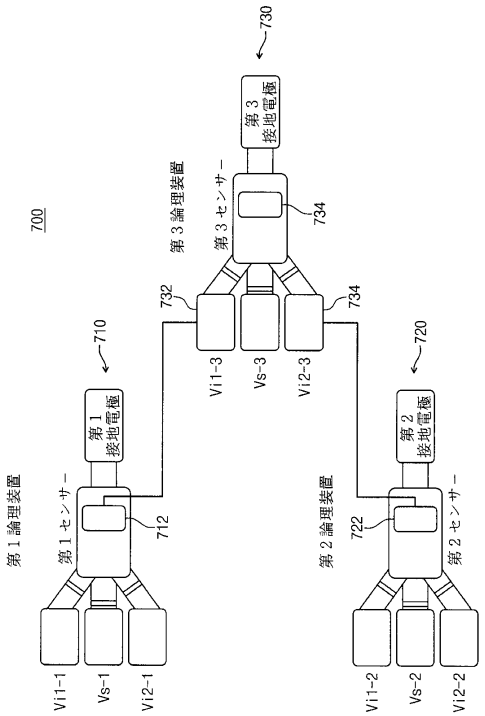
【図１１】



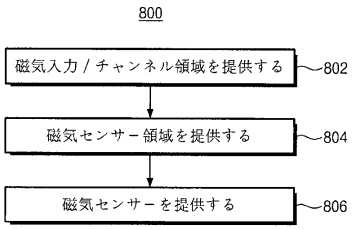
【図１２】



【図１３】


700
730
第３接地電極
第３論理装置
第３センサー
734
732
734
710
720
第１接地電極
第２接地電極
Vi1-3
Vs-3
Vi2-3
第１論理装置
第１センサー
712
第２論理装置
722
第２センサー
Vi1-1
Vs-1
Vi2-1
Vi1-2
Vs-2
Vi2-2

【図１４】


800
磁気入力 / チャンネル領域を提供する
802
磁気センサー領域を提供する
804
磁気センサーを提供する
806

フロントページの続き

(72)発明者　デヴィッド・ドルイスト
アメリカ合衆国・カリフォルニア・９５０５０・サンタ・クララ・マリアン・ドライヴ・９４６

審査官　加藤　俊哉

(56)参考文献　特開２００８－２１１００８（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－０９９６２５（ＪＰ，Ａ）
特表２０１１－５２５３００（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１２／０９３７０１（WO，Ａ1）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２９／８２
Ｈ０１Ｌ　４３／０８
Ｈ０１Ｌ　４３／１０
Ｈ０３Ｋ　１９／１７３
Ｈ０３Ｋ　１９／１８