

(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
2012年1月19日(19.01.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/008349 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/8246 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01L 27/105 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/065542
- (22) 国際出願日: 2011年7月7日(07.07.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-161421 2010年7月16日(16.07.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 早川 純 (HAYAKAWA Jun) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分

寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP).

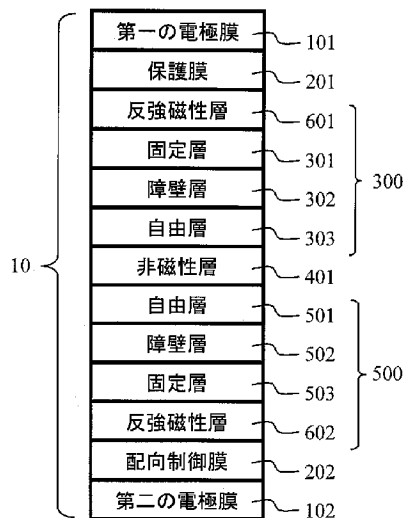
- (74) 代理人: 平木 祐輔, 外(HIRAKI Yusuke et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門4丁目3番20号 神谷町MTビル19階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC RESISTANCE ELEMENT, MAGNETIC MEMORY CELL AND MAGNETIC RANDOM ACCESS MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気抵抗素子、磁気メモリセル及び磁気ランダムアクセスメモリ

[図1]



101 FIRST ELECTRODE FILM
102 SECOND ELECTRODE FILM
201 PROTECTIVE FILM
202 ORIENTATION CONTROLLING FILM
301 FIXED LAYER
302 BARRIER LAYER
303 FREE LAYER
401 NON-MAGNETIC LAYER
501 FREE LAYER
502 BARRIER LAYER
503 FIXED LAYER
601 ANTI-FERROMAGNETIC LAYER
602 ANTI-FERROMAGNETIC LAYER

(57) Abstract: Disclosed is a multi-value high-capacity low-power-consumption non-volatile memory. It is made possible to record three-valued recording information by arranging a first tunnel magnetic resistance element (300) and a second tunnel magnetic resistance element (500) on either side of a non-magnetic layer (401). A free layer (303) of the first tunnel magnetic resistance element (300) and a free layer (501) of the second tunnel magnetic resistance element (500) are arranged so as to face each other on either side of the non-magnetic layer (401). Alternatively, a fixed layer (301) of the first tunnel magnetic resistance element (300) and a fixed layer (503) of the second tunnel magnetic resistance element (500) are arranged so as to face each other on either side of the non-magnetic layer (401). A single-bit three-valued high-capacity magnetic memory can be realised by arranging magnetic memory cells, in which this magnetic resistance element (10) is provided with a switching element, in the form of an array to thereby form a magnetic random access memory.

(57) 要約: 多値大容量低消費電力不揮発性メモリを提供する。非磁性層401を挟んで第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500を配置したことにより、3値の記録情報を記録可能にする。非磁性層401を挟んで、第一のトンネル磁気抵抗素子300の自由層303と第二のトンネル磁気抵抗素子500の自由層501が向き合うように配置する。あるいは、非磁性層401を挟んで、第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層301と第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層503が向き合うように配置する。この磁気抵抗素子10にスイッチング素子を備えた磁気メモリセルをアレイ状に配置して磁気ランダムアクセスメモリを形成することにより、1ビット3値の大容量磁気メモリを実現できる。



(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

磁気抵抗素子、磁気メモリセル及び磁気ランダムアクセスメモリ

技術分野

[0001] 本発明は、電気的手段により磁気情報の書込みを行う磁気メモリセル及びそれを装備した大容量多値磁気メモリに関するものである。

背景技術

[0002] 不揮発性磁気メモリや磁気記録装置では、その大容量化に向けて記録磁気情報を多値情報として記録し、読み出す技術が必要とされている。例えば、MOSFET上にトンネル磁気抵抗素子を2つ以上積層した多値磁気メモリが特表2007-504651号公報に開示されている。また、特開2006-237183号公報には、磁性細線に磁壁で分離して配列された多数の磁気ビット情報を一つの磁気抵抗素子で読み出す大容量の磁気記録装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表2007-504651号公報

特許文献2：特開2006-237183号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 磁気メモリや磁気記録装置の抜本的な大容量化の実現には、1ビットの磁気情報を多値で読み出す技術を開発する必要がある。

[0005] 本発明は、このような要請に応えることのできる磁気メモリセル及び大容量不揮発性磁気メモリを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の磁気抵抗素子は、非磁性層と、非磁性層を挟んで直列に接続され

た第一のトンネル磁気抵抗素子及び第二のトンネル磁気抵抗素子と、非磁性層を介して第一のトンネル磁気抵抗素子及び第二のトンネル磁気抵抗素子に電流を流すための一对の電極膜とを有する。第一のトンネル磁気抵抗素子は、第一の障壁層と、第一の障壁層を挟んで設けられた第一の自由層と第一の固定層とを有し、第二のトンネル磁気抵抗素子は、第二の障壁層と、第二の障壁層を挟んで設けられた第二の自由層と第二の固定層とを有する。

[0007] このとき、非磁性層に対して第一の固定層は第一の自由層より遠くに配置されると共に第二の固定層は第二の自由層より遠くに配置される。あるいは、非磁性層に対して第一の自由層は第一の固定層より遠くに配置されると共に第二の自由層は第二の固定層より遠くに配置される。

[0008] また、第1の方向に電流を流し、第一の自由層の磁化を第一の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c3}|$ 、第1の方向と逆の第2の方向に電流を流し、第一の自由層の磁化を第一の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c4}|$ 、第2の方向に電流を流し、第二の自由層の磁化を第二の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c2}|$ 、第1の方向に電流を流し、第二の自由層の磁化を第二の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c1}|$ とするとき、次の関係を満たす。

[0009] $|I_{c3}| > |I_{c1}|$ かつ $|I_{c4}| > |I_{c2}|$

第一の自由層と第二の自由層の磁化方向は、非磁性層を介して配置した一对のトンネル磁気抵抗素子に電流を流すことにより反転制御する、スピントランスファートルク磁化反転による情報書込み方式を用いる。このようなトンネル磁気抵抗素子により、3値の情報記録を実現できる。

[0010] 非磁性層は、第一のトンネル磁気抵抗素子の第一の自由層あるいは第一の固定層と、第二のトンネル磁気抵抗素子の第二の自由層あるいは第二の固定層との間に磁気的な結合を生じさせない膜厚を有することが必要である。

[0011] 第一及び第二のトンネル磁気抵抗素子の自由層及び／又は固定層は、C o

とFeの少なくとも一つとBを含有する膜とすることができる。障壁層は、マグネシウムの酸化物とすることができる。

[0012] 本発明の磁気メモリセルは、本発明の磁気抵抗素子と、磁気抵抗素子に流れる電流をオン・オフ制御するスイッチング素子とを有し、スイッチング素子を介して磁気抵抗素子に流れる電流により情報の記録を行うものである。

[0013] 3値の情報のうち第1の情報を書き込むときは、第1の方向に $|I_{c3}|$ 以上の電流を流した後、電流をゼロにもどす。第2の情報を書き込むときは、第2の方向に $|I_{c4}|$ 以上の電流を流し、次に第1の方向に $|I_{c1}|$ と $|I_{c3}|$ の間の電流を流し、次に電流をゼロへ戻す。第3の情報を書き込むときは、第1の方向に $|I_{c3}|$ 以上の電流を流した後、第2の方向に $|I_{c4}|$ と $|I_{c2}|$ の間の電流を流し、次に電流ゼロへ戻す。

[0014] 本発明の磁気ランダムアクセスメモリは、アレイ状に配置した本発明の上記磁気メモリセルと、複数の磁気メモリセルから一つを選択して情報の書き込みあるいは読取りを行ための選択制御手段とを備える。選択制御手段は、選択した磁気メモリセルの磁気抵抗素子に、第1の方向に流れる $|I_{c3}|$ 以上の電流、第2の方向に流れる $|I_{c4}|$ 以上の電流、第1の方向に流れる $|I_{c1}|$ と $|I_{c3}|$ の間の電流、第2の方向に流れる $|I_{c4}|$ と $|I_{c2}|$ の間の電流を定められたシーケンスに従って選択的に流すことで、上記第1の情報、第2の情報、第3の情報の書き込みを行う。

発明の効果

[0015] 本発明によると、従来の2倍以上の容量をもつ磁気メモリを提供でき、大容量化が可能になる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図2]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図3]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図4]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図5]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図6]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図7]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図8]本発明の磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。

[図9]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図10]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図11]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図12]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図13]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置を反映した出力信号の大小関係を示した図である。

[図14]電流方向の定義を示す図である。

[図15]本発明の磁気抵抗素子における第一のトンネル磁気抵抗素子と第二のトンネル磁気抵抗素子の電気抵抗－電流特性の例を示した図である。

[図16]本発明の磁気抵抗素子における3値の磁化配置を形成するための電流印加例を示した図である。

[図17]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図18]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図19]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図20]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置の例を示した図である。

[図21]本発明の磁気抵抗素子における磁化配置を反映した出力信号の大小関係を示した図である。

[図22]電流方向の例を示す図である。

[図23]本発明の磁気抵抗素子における第一のトンネル磁気抵抗素子と第二のトンネル磁気抵抗素子の電気抵抗－電流特性の例を示した図である。

[図24]本発明の磁気抵抗素子における3値の磁化配置を形成するための電流印加例を示した図である。

[図25]本発明の磁気メモリセルの構成例を示した図である。

[図26]本発明の磁気メモリセルの構成例を示した図である。

[図27]本発明の磁気ランダムアクセスメモリの構成例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

[0018] 図1は、本発明による磁気抵抗素子の構成例を示す断面模式図である。この磁気抵抗素子10は、第一の電極膜101、保護膜201、第一のトンネル磁気抵抗素子300、非磁性層401、第二のトンネル磁気抵抗素子500、配向制御膜202、第二の電極膜102により形成される。ここで、第一のトンネル磁気抵抗素子300は、反強磁性層601、固定層301、障壁層302、自由層303により構成され、第二のトンネル磁気抵抗素子500は、自由層501、障壁層502、固定層503、反強磁性層602により構成される。本発明の磁気抵抗素子10の各層を構成する膜は、スパッタリング法を用いて製膜した。ただし、磁気抵抗素子10の全層あるいは一部の層を、分子線エピタキシー法、レーザアブレーション法、イオンビームを使ったスパッタ法によって形成しても構わない。

[0019] 第二の電極膜102には、Ta, Ru, Cu, CuN膜やそれらの多層膜を用いることができる。配向制御層202はNiFeやNiFeCr、あるいはRuなどを用いることができるが、その上に形成される反強磁性層602の配向性を向上させ、安定した反強磁性結合を実現できるならば他の材料を用いてもよい。TaやPtなどの高融点のアモルファス膜を使用することも望ましい。反強磁性層602にはMnIr (8nm)を用いたが、膜厚は4~15nmの範囲で選択可能である。また、MnPt, MnFeなどのMn化合物で構成される反強磁性層を用いても安定に反強磁性結合を実現できる。さらに、Mnを含まない元素で構成される高温の熱処理耐性の優れた反強磁性膜を適用することも可能である。ここで高温とは、300℃以上の温度を示す。

[0020] 固定層503には、CoFeやCoFeBなどの強磁性膜を使用することができる。また、CoFe/Ru/CoFeで構成される磁化の固定力の大きい積層フェリ型の固定層を使用してもよい。この場合、CoFeの代わりにCoFeBを使うことも可能である。特に障壁層502にマグネシウムの

酸化物を用いる場合には、反強磁性層 602 側から見て $\text{CoFe}/\text{Ru}/\text{CoFeB}$ や $\text{CoFe}/\text{Ru}/\text{CoFeB}/\text{CoFe}$ などの積層構造を有する積層膜を使用することも可能である。これらの材料からなる固定層を備えることにより、高い出力を得ることが可能となる。また、積層フェリ型の固定層を使用する場合には、 Ru に比べて熱拡散耐性に優れた Ir , Os など使用することができる。

[0021] 障壁層 502 には、酸化物や窒化物、又は半導体などの金属ではない材料が使用される。その中でも、マグネシウムを含む酸化物である MgO , MgZnO などを用いることが望ましい。 MgO ターゲットをスパッタ法で製膜したり、 Mg を酸化プラズマ雰囲気中で酸化したり、プラズマを用いずに自然に酸化するプロセスを使用して作製することも可能である。 MgO の場合、岩塩構造を持ち、(001) 配向を主配向とする障壁層であることが望ましいが、アモルファス構造であっても構わない。また、 MgZnO を適用することによりトンネル磁気抵抗素子の抵抗を減少することが可能であり、素子に大きな電流を印加可能となる。 MgZnO を用いる場合も、岩塩構造の(001) 配向が主配向となっていることが望ましい。さらに、 Ge や ZnSe などの半導体で障壁層を形成することも可能である。また、 MgO や MgZnO , ZnO , Ge , ZnSe などの異種の障壁層材料を2層以上の多層に積層して形成する障壁層を用いてもよい。

[0022] 自由層 501 には、 CoFe や CoFeB などの強磁性膜を使用することができる。また、 $\text{CoFe}/\text{Ru}/\text{CoFe}$ で構成される磁化の結合力の大きい積層フェリ型の自由層を使用してもよい。この場合、 CoFe の代わりに CoFeB を使うことも可能である。障壁層 502 にマグネシウムの酸化物を使用する場合には、障壁層 502 側から見て $\text{CoFeB}/\text{Ru}/\text{CoFeB}$ や $\text{CoFeB}/\text{CoFe}/\text{Ru}/\text{CoFe}$, $\text{CoFe}/\text{CoFeB}/\text{CoFe}/\text{Ru}/\text{CoFe}$, $\text{CoFe}/\text{CoFeB}/\text{CoFe}/\text{Ru}/\text{CoFe}/\text{CoFeB}$ などの積層構造を有する積層膜を使用することも可能である。また、 CoFeB の垂直磁化膜を使用することも可能である。垂直磁化タ

タイプのC o F e Bを用いた場合は、スピントランスファートルク磁化反転の閾値電流を小さくすることが可能で、さらに第二の自由層の熱安定性が向上される。

[0023] 次に、非磁性層401の材料について説明する。非磁性層401には、自由層303と自由層501の間に磁気的な結合が生じないようにするための、さらにその上に形成される自由層303の所望の配向性、結晶構造を実現するための材料又は膜厚が選択される。ここで磁気的結合が生じないとは、自由層303と自由層501の磁化方向をお互いに制御する作用が生じないことを意味する。これは、静的な状況はもちろん、読出し時や書込み時に電流や電圧を印加している動的な状況でも、自由層303と自由層501の磁化方向がお互いに影響し合ってはならない。ここでは、C u, C r, T a, R u, A g, A u, T i, V, Z n, A l, P d, P t, W, M g, H fなどの材料又はそれらの積層膜や化合物が使用される。さらに、これらの酸化物や窒化物を用いても構わない。非磁性層401の膜厚は5 nm以上あることが望ましいが、自由層303と自由層501の間に磁気的な結合が生じなければ5 nm以下であってもよい。

[0024] 自由層303には、自由層501と同様に、C o F eやC o F e Bなどの強磁性膜を使用することができる。また、C o F e / R u / C o F eで構成される磁化の結合力の大きい積層フェリ型の自由層を使用してもよい。この場合、C o F eの代わりにC o F e Bを使うことも可能である。障壁層302にマグネシウムの酸化物を用いる場合には、障壁層302側から見てC o F e B / R u / C o F e BやC o F e B / C o F e / R u / C o F e, C o F e / C o F e B / C o F e / R u / C o F e, C o F e / C o F e B / C o F e / R u / C o F e / C o F e Bなどの積層構造を有する積層膜を使用することも可能である。また、C o F e Bの垂直磁化膜を使用することも可能である。垂直磁化タイプのC o F e Bを用いた場合は、スピントランスファートルク磁化反転の閾値電流を小さくすることが可能で、さらに自由層の熱安定性が向上される。障壁層302についても、障壁層502と同様の材

料が使用される。

[0025] 固定層301については、固定層503と同様に、CoFeやCoFeBなどの強磁性膜を使用することができる。また、CoFe/Ru/CoFeなどの磁化の固定力の大きい積層フェリ型の固定層を使用してもよい。この場合、CoFeの代わりにCoFeBを使うことも可能である。特に障壁層302にマグネシウムの酸化物を用いる場合には、反強磁性層601側から見てCoFe/Ru/CoFeBやCoFe/Ru/CoFeB/CoFeなどの積層構造を有する積層膜を使用することも可能である。これらの固定層を備えることにより、高い出力を得ることが可能となる。また、積層フェリ型の固定層を使用する場合には、Ruに比べて熱拡散耐性に優れたIr, Osなどを使用することができる。

[0026] 反強磁性層601には、MnIr (8 nm) を用いたが、膜厚は4~15 nmの範囲で選択可能である。また、MnPt, MnFeなどのMn化合物で構成される反強磁性層を用いても安定に反強磁性結合を実現できる。さらに、Mnを含まない元素で構成される高温の熱処理耐性の優れた反強磁性膜を適用することも可能である。ここで高温というのは、300℃以上の温度を示す。

[0027] 保護膜201には、Ta, Ru, MgOなどを使用することが可能であるが、そのほかにCu, Cr, Ag, Au, Ti, V, Zn, Al, Pd, Pt, W, Hfなどの材料、またそれらの積層膜や化合物が使用される。さらに、これらの酸化物や窒化物を用いても構わない。第一の電極膜101には、Ta, Ru, Cu, W, Ti, TiN, Al, Au, Ptなどの材料が使用される。

[0028] 図2は、本発明の磁気抵抗素子の他の構成例を示す断面模式図である。本実施例の磁気抵抗素子10は、図1に示した磁気抵抗素子と比較して、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500を構成する各々の自由層と固定層と反強磁性層の配置が入れ替わった構成をもつ。それぞれ非磁性層401側から反強磁性層601, 602、固定層301,

503、障壁層302、502、自由層303、501の順に形成されている。各層に用いる材料は、図1に示した磁気抵抗素子の場合と同様である。

[0029] 図3、図4、図5、図6は、本発明の磁気抵抗素子の更に他の構成例を示す断面模式図である。図3及び図4に示した磁気抵抗素子10は、図1に示した磁気抵抗素子に対して、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500のどちらか一方の反強磁性層がない構造を有する。また、図5及び図6に示した磁気抵抗素子10は、図2に示した磁気抵抗素子に対して、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500のどちらか一方の反強磁性層がない構造を有する。

[0030] 図7は、本発明の磁気抵抗素子の他の構成例を示す断面模式図である。本実施例の磁気抵抗素子10は、図1に示した磁気抵抗素子と比較して、反強磁性層601、602を持たない点が異なる。この構成の場合、第一のトンネル磁気抵抗素子300又は第二のトンネル磁気抵抗素子500の少なくとも一方の自由層と固定層には、垂直磁化膜を使用することが望ましい。例えば、第二の電極膜102にTa/Ru/Ta、配向制御膜202にTaを用い、第一のトンネル磁気抵抗素子300の自由層303と固定層301、第二の磁気抵抗素子500の自由層501と固定層503にCoFeB垂直磁化膜を用い、障壁層302、502にはMgOを用いる。保護膜201としてはTa、RuやMgO/Taを使用し、第一の電極膜101には、Ta、Ru、Cu、W、Ti、TiN、Alなどの材料を使用する。

[0031] 図8は、本発明の磁気抵抗素子の他の構成例を示す断面模式図である。本実施例の磁気抵抗素子10は、図7に示した磁気抵抗素子に対して、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500の中で自由層と固定層の配置が入れ替わった構造を有する。すなわち、図7に示した磁気抵抗素子10は非磁性層401を挟んで自由層303と自由層501とが近接して配置された構造を有するが、図8に示した磁気抵抗素子10は、非磁性層401を挟んで固定層301と固定層503とが接近して配置された構造を有する。

[0032] 次に、本発明による多値磁気メモリの動作と原理について説明する。図9は、図1、図3、図4及び図7に示した磁気抵抗素子10において、第一のトンネル磁気抵抗素子300、非磁性層401、第二のトンネル磁気抵抗素子500の部分の各々の自由層と固定層の磁化が面内に容易軸を持つ場合の磁化配列の組合せを示したものである。図には、各層の磁化方向を矢印で示す。図9に示すように、次の3種類の状態が実現可能となる。

- [0033] (1)第一のトンネル磁気抵抗素子300の自由層の磁化3031と固定層の磁化3011が平行配列、且つ第二のトンネル磁気抵抗素子500の自由層の磁化5011と固定層の磁化5031が反平行配列した情報Aの状態
- (2)第一のトンネル磁気抵抗素子300、第二のトンネル磁気抵抗素子500ともに、2つの磁化が反平行配列した情報Bの状態
- (3)第一の磁気抵抗素子300と第二の磁気抵抗素子400ともに、2つの磁化が平行配列した情報Cの状態

図10は、第一のトンネル磁気抵抗素子300及び第二のトンネル磁気抵抗素子500のそれぞれの自由層、固定層の磁化方向が膜面に対して垂直に向いているときの磁化の配列例を示したものであり、その相対配置は図9に示した面内磁化の場合と同様である。

[0034] また、図11は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の自由層と固定層の磁化が面内方向に容易軸を持ち、第二のトンネル磁気抵抗素子500の自由層と固定層の磁化が膜面垂直方向に容易軸を持つ場合の各々の自由層、固定層の磁化配列の組合せを示したものである。同様に、図12は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の自由層と固定層の磁化が膜面垂直方向に容易軸を持ち、第二のトンネル磁気抵抗素子500の自由層と固定層の磁化が面内方向に容易軸を持つ場合の各々の自由層、固定層の磁化配列の組合せを示したものである。

[0035] このような磁化配列に対して得られる出力電圧値の大小関係を図13に示す。トンネル磁気抵抗素子は、その中の自由層と固定層の磁化が互いに平行のとき低抵抗になり、反平行のときに高抵抗となる。したがって、第一のト

ンネル磁気抵抗素子と第二のトンネル磁気抵抗素子のそれぞれの磁化配置が両方ともに平行である情報Cでの抵抗値 R_3 が最も小さく、従って出力電圧が最も低くなり、お互いに反平行のときである情報Bの抵抗値 R_2 が最も大きく、出力電圧が最も高くなる。また、情報Aは平行と反平行の組合せであり、情報BとCの間の抵抗値 R_1 となり、出力電圧も中間の電圧となる。このように、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500の各々での磁化配列パターンの組合せにより、出力電圧値の異なる3つのレベル、すなわち3値の情報の記録・再生が実現可能となる。

[0036] 次に、情報A, B, Cの状態の書込み手順について説明する。図14に、書込み時の電流方向の定義を示す。図示のように、電流の向きは、第二の電極膜102から第一の電極膜101の方向を正方向とする。

[0037] 図15は、図14のように電流方向を定義した時の第一のトンネル磁気抵抗素子と第二のトンネル磁気抵抗素子の各素子の電気抵抗－電流特性を分解して示した図である。実線は第一のトンネル磁気抵抗素子の抵抗－電流特性を示し、破線は第二のトンネル磁気抵抗素子の抵抗－電流特性を示す。第一のトンネル磁気抵抗素子では、実線で示すように、正方向に I_{c3} の電流を印加すると自由層と固定層の磁化が反平行状態から平行状態へ遷移する。一方、負方向に $-I_{c4}$ 以上の電流を印加すると磁化は平行から反平行へスイッチする。第二のトンネル磁気抵抗素子では、第一のトンネル磁気抵抗素子に対して自由層と固定層の積層順が反対になることから、抵抗－電流のヒステリシスの極性が逆になる。したがって第二のトンネル磁気抵抗素子の場合、破線で示すように、正方向に I_{c1} の電流を印加すると自由層と固定層の磁化が平行状態から反平行状態へ遷移する。一方、負方向に絶対値が I_{c2} 以上の電流を印加すると磁化は反平行から平行へスイッチする。

[0038] 逆に言うと、第一のトンネル磁気抵抗素子の固定層と自由層、及び第二のトンネル磁気抵抗素子の固定層と自由層は、第一のトンネル磁気抵抗素子の抵抗－電流ヒステリシスのスイッチング電流（又は、閾値電流） $-I_{c4}$ 及び I_{c3} と、第二のトンネル磁気抵抗素子の抵抗－電流ヒステリシスのスイッチング

電流 $-I_{c2}$ 及び I_{c1} が、図15に示すように、次の関係を満たすように設定されている。これは、トンネル磁気抵抗素子300, 500の自由層の膜厚や材料、寸法を適切に選択することによって設計可能である。

[0039] $-I_{c4} < -I_{c2} < I_{c1} < I_{c3}$

上記スイッチング電流を絶対値で比較すると、次の関係を満たす必要がある。

[0040] $|I_{c3}| > |I_{c1}|$ かつ $|I_{c4}| > |I_{c2}|$

第一のトンネル磁気抵抗素子と第二のトンネル磁気抵抗素子の動作とスイッチング電流が図15に示したように I_{c1} から I_{c4} で定義されるとき、情報A～Cを記録するための電流印加のシーケンスを図16に示す。

[0041] 情報Aを書込む場合、 I_{c3} 以上の電流を正方向（第二の電極膜から第一の電極膜の方向）に流し、電流をゼロにもどす。この場合、図15から分かるように、第一のトンネル磁気抵抗素子300では固定層の磁化と自由層の磁化が平行状態、第二のトンネル磁気抵抗素子では反平行状態となり、図9から図12に示した情報Aに相当する磁化配列が形成される。情報Bの書込み操作に当たっては、一旦、負方向に $-I_{c4}$ 以上の電流を印加する。

[0042] そのとき、第一のトンネル磁気抵抗素子では磁化が反平行状態、第二のトンネル磁気抵抗素子は磁化が平行状態となる。そのまま、電流を I_{c1} より大きく、 I_{c3} より小さく設定すると第一のトンネル磁気抵抗素子は固定層の磁化と自由層の磁化が反平行を維持した状態、第二のトンネル磁気抵抗素子は、平行から反平行へスイッチする。そのまま、電流をゼロへ戻すと第一のトンネル磁気抵抗素子、第二のトンネル磁気抵抗素子ともに磁化が反平行状態となり図9から図12に示した情報Bの磁化配列が形成される。最後に情報Cの書込み方法としては、正方向に I_{c3} 以上の電流を流し第一のトンネル磁気抵抗素子の磁化を平行、第二のトンネル磁気抵抗素子の磁化を反平行状態へセットする。その後、 $-I_{c4}$ と $-I_{c2}$ との間の電流域まで電流を印加してゼロへ戻すと、第二のトンネル磁気抵抗素子のみ磁化が反平行から平行へスイッチする。このように情報A～C毎に設定される電流シーケンスを操作することによ

り、3値の状態を自由に作り出すことが可能となる。

[0043] 図17から図20は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層と第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層とが非磁性層を介して近接して配置された場合の磁化配列の例を示す。図中の矢印は磁化の向きを表す。図17は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層と自由層、及び第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層と自由層の全てに面内磁化膜を用いた場合を示し、図18は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層と自由層、及び第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層と自由層の全てに垂直磁化膜を用いた場合を示している。また、図19は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層と自由層に面内磁化膜を用い、第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層と自由層に垂直磁化膜を用いた場合を示している。図20は、第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層と自由層に垂直磁化膜を用い、第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層と自由層に面内磁化膜を用いた場合を示している。

[0044] この場合にも、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層の磁化と自由層の磁化に関し、図9から図12に示した例と同様な平行と反平行の組み合わせの配列が可能となる。そして、それに対応する情報A～Cの出力電圧値も、図21に示すように図13と同様の関係となる。

[0045] 図22は、非磁性層401側に第一のトンネル磁気抵抗素子300の固定層301と第二のトンネル磁気抵抗素子500の固定層503が配置された場合の電流方向の定義を示す。この場合には、図14と異なり、第一の電極膜101から第二の電極膜102方向を正方向として電流を流すように定義する。

[0046] このとき、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500の電気抵抗－電流特性は、図23に示すようになる。図23において、実線は第一のトンネル磁気抵抗素子300の抵抗－電流特性を示し、破線は第二のトンネル磁気抵抗素子500の抵抗－電流特性を示す。この場

合も、図24に示すように、図16を用いて説明したのと同じ電流シーケンスによって、情報A～Cに対応する磁化配列が形成される。ここで、図23に示した電気抵抗－電流特性において、第一のトンネル磁気抵抗素子300と第二のトンネル磁気抵抗素子500の間の閾値電流の絶対値の相違（例えば、 I_{c1} と I_{c3} ）はトンネル磁気抵抗素子300、500の自由層の膜厚や材料、寸法によって設計することが可能である。

[0047] 図25と図26は、本発明による磁気メモリセルの構成例を示す断面模式図である。この磁気メモリセルは、メモリセルとして図1から図8に示した磁気抵抗素子10を搭載している。図25は、磁気抵抗素子10がソース電極812から立ち上がった電極上に形成された構造を有し、図26は磁気抵抗素子10がソース電極802の積層上から電極700を引き出した上に形成された構造を有する。

[0048] C-MOS1は、2つのn型半導体801、802と一つのp型半導体803からなる。n型半導体801にドレインとなる電極811が電氣的に接続され、電極831、836を介してグラウンドに接続されている。n型半導体802には、ソースとなる電極812が電氣的に接続されている。ソース電極812には、電極835、834、833、832が積層され、その上の電極700に磁気抵抗素子10の第二の電極膜102が接続されている。磁気抵抗素子10の第一の電極膜101は、ビット線701に接続されている。ソース電極812とドレイン電極811の間の電流のON/OFFは、ゲート電極813によりを制御される。

[0049] 本実施例の磁気メモリセルでは、磁気抵抗素子10に流れる電流を図16あるいは図24で説明したシーケンスに従って制御し、いわゆるスピントランスファートルクにより磁気抵抗素子10の第一のトンネル磁気抵抗素子300の自由層の磁化方向と第二のトンネル磁気抵抗素子500の自由層の磁化方向を回転し、磁気的情報を記録する。スピントランスファートルクは、空間的な外部磁界ではなく主としてトンネル磁気抵抗素子中を流れるスピン偏極した電流のスピンのトンネル磁気抵抗素子の強磁性自由層の磁気モーメ

ントにトルクを与える原理である。このスピン偏極した電流は、トンネル磁気抵抗素子に電流を流すこと自体で発生する。したがって、トンネル磁気抵抗素子に外部から電流を流すことにより、スピントランスファートルク磁化反転は実現される。その電流の方向により自由層の磁化方向を制御し、自由層と固定層の磁化配列を決定する。

[0050] 本実施例では、C-MOS 1を使用することにより、磁気抵抗素子10に流れる電流の向きを双方向に設定できる。本実施例では、ビット線701と電極836の間に電流が流れることにより磁気抵抗素子10中の自由層303, 501にスピントランスファートルクが作用する。スピントランスファートルクにより書込みを行った場合、書込み時の電力は電流磁界を用いた場合に比べ百分の一程度まで低減可能である。また、 100 以上の E/kT を有するトンネル磁気抵抗素子300, 500を装備することにより、ギガビットの磁気メモリを構成可能な磁気メモリセルを実現できる。

[0051] 図27は、本発明の磁気メモリセルを配置した磁気ランダムアクセスメモリの構成例を示す図である。ゲート電極813とビット線701がメモリセル900に電氣的に接続されている。ビット線にはビット線ドライバー901が接続され、ゲート線にはゲートドライバー902が接続されており、配置された磁気メモリセルの選択はこのドライバーにより実施される。特に、書込み動作の時には、個々のメモリセル900に、図16と図24に示したようなシーケンスによりビット線701から電流が供給される。そのために、ビット線ドライバー901は、特定のビット線を選択する機能と、選択したビット線を介して磁気メモリセルの磁気抵抗素子に複数の電流値から選択された所望の値の所望の方向の電流を所定のシーケンスに従って流す機能を有する。

[0052] 具体的な電流値は、図16及び図24で説明したように、(1)正方向に I_{c3} 以上の電流、(2)負方向に $-I_{c4}$ 以上の電流、(3) I_{c1} より大きく、 I_{c3} より小さな電流、(4) $-I_{c4}$ と $-I_{c2}$ の間の電流である。また、読出し動作についても、書込み動作と同様に読み出しを行う磁気メモリセルの選択はビット線ドライバ

ー 901 とゲートドライバー 902 を操作して行う。読出しは、トンネル磁気抵抗素子の高抵抗、低抵抗状態をトランジスタ 1 に流れる電流量により判別して、“0”（低抵抗）、“1”（高抵抗）を決定する。その電流量は、閾値電流の絶対値 $|I_{c1}|$ から $|I_{c4}|$ において最も小さい閾値電流値未満に設定することが望ましい。本発明の磁気メモリセルを配置することにより、磁気メモリは低消費電力で動作が可能であり、ギガビット級の高密度磁気メモリを実現可能である。

符号の説明

- [0053] 1 C-MOS
- 10 磁気抵抗素子
 - 101 第一の電極膜
 - 102 第二の電極膜
 - 201 保護膜
 - 202 配向制御膜
 - 300 第一のトンネル磁気抵抗素子
 - 301 固定層
 - 302 障壁層
 - 303 自由層
 - 401 非磁性層
 - 500 第二のトンネル磁気抵抗素子
 - 501 自由層
 - 502 障壁層
 - 503 固定層
 - 601, 602 反強磁性膜
 - 701 ビット線
 - 801 n型半導体
 - 803 p型半導体
 - 812 ソース電極

- 8 1 1 ドレイン電極
- 8 1 3 ゲート電極
- 8 3 1 ～ 8 3 6 電極配線
- 9 0 1 ビット線ドライバー
- 9 0 2 ゲートドライバー

請求の範囲

[請求項1]

非磁性層と、

前記非磁性層を挟んで直列に接続された第一のトンネル磁気抵抗素子及び第二のトンネル磁気抵抗素子と、

前記非磁性層を介して前記第一のトンネル磁気抵抗素子及び前記第二のトンネル磁気抵抗素子に電流を流すための一対の電極膜とを有し、

前記第一のトンネル磁気抵抗素子は、第一の障壁層と、前記第一の障壁層を挟んで設けられた第一の自由層と第一の固定層とを有し、

前記第二のトンネル磁気抵抗素子は、第二の障壁層と、前記第二の障壁層を挟んで設けられた第二の自由層と第二の固定層とを有し、

前記非磁性層に対して前記第一の固定層は前記第一の自由層より遠くに配置されると共に前記第二の固定層は前記第二の自由層より遠くに配置され、あるいは、前記非磁性層に対して前記第一の自由層は前記第一の固定層より遠くに配置されると共に前記第二の自由層は前記第二の固定層より遠くに配置され、

前記第一の自由層と前記第二の自由層の磁化方向が、前記一対の電極膜の間に流れる電流により反転し、

第1の方向に電流を流し、前記第一の自由層の磁化を前記第一の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c3}|$ 、前記第1の方向と逆の第2の方向に電流を流し、前記第一の自由層の磁化を前記第一の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c4}|$ 、前記第2の方向に電流を流し、前記第二の自由層の磁化を前記第二の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c2}|$ 、前記第1の方向に電流を流し、前記第二の自由層の磁化を前記第二の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c1}|$ とすると

き、次の関係を満たすことを特徴とする磁気抵抗素子。

$$|I_{c3}| > |I_{c1}| \quad \text{かつ} \quad |I_{c4}| > |I_{c2}|$$

[請求項2] 請求項1記載の磁気抵抗素子において、前記非磁性層は、前記第一のトンネル磁気抵抗素子の第一の自由層あるいは第一の固定層と、前記第二のトンネル磁気抵抗素子の第二の自由層あるいは第二の固定層との間に磁気的な結合を生じさせない膜厚を有することを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項3] 請求項1記載の磁気抵抗素子において、前記第一の自由層、前記第一の固定層、前記第二の自由層及び前記第二の固定層は、C oとF eの少なくとも一つとBを含有する膜であることを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項4] 請求項1記載の磁気抵抗素子において、前記第一の障壁層及び前記第二の障壁層は、マグネシウムの酸化物により形成されることを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項5] 請求項1記載の磁気抵抗素子において、前記第一の自由層と前記第一の固定層、前記第二の自由層と前記第二の固定層の少なくとも一組は、磁化方向が膜面垂直方向に向いている一对の垂直磁化膜からなることを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項6] 請求項1記載の磁気抵抗素子において、前記第一の固定層と前記第二の固定層の少なくとも一方に反強磁性層が隣接していることを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項7] 請求項1記載の磁気抵抗素子において、前記第一の自由層、前記第二の自由層、前記第一の固定層、前記第二の固定層の少なくとも一つは、間に非磁性層を挟んで互いの磁化方向が反平行に配置された一对の強磁性層からなることを特徴とする磁気抵抗素子。

[請求項8] 磁気抵抗素子と、

前記磁気抵抗素子に流れる電流をオン・オフ制御するスイッチング素子とを有し、

前記スイッチング素子を介して前記磁気抵抗素子に流れる電流により情報の記録を行う磁気メモリセルにおいて、

前記磁気抵抗素子は、非磁性層と、前記非磁性層を挟んで直列に接続された第一のトンネル磁気抵抗素子及び第二のトンネル磁気抵抗素子と、前記非磁性層を介して前記第一のトンネル磁気抵抗素子及び前記第二のトンネル磁気抵抗素子に電流を流すための一对の電極膜とを有し、

前記第一のトンネル磁気抵抗素子は、第一の障壁層と、前記第一の障壁層を挟んで設けられた第一の自由層と第一の固定層とを有し、

前記第二のトンネル磁気抵抗素子は、第二の障壁層と、前記第二の障壁層を挟んで設けられた第二の自由層と第二の固定層とを有し、

前記非磁性層に対して前記第一の固定層は前記第一の自由層より遠くに配置されると共に前記第二の固定層は前記第二の自由層より遠くに配置され、あるいは、前記非磁性層に対して前記第一の自由層は前記第一の固定層より遠くに配置されると共に前記第二の自由層は前記第二の固定層より遠くに配置され、

前記第一の自由層と前記第二の自由層の磁化方向が、前記一对の電極膜の間に流れる電流により反転し、

第1の方向に電流を流し、前記第一の自由層の磁化を前記第一の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c3}|$ 、前記第1の方向と逆の第2の方向に電流を流し、前記第一の自由層の磁化を前記第一の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c4}|$ 、前記第2の方向に電流を流し、前記第二の自由層の磁化を前記第二の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c2}|$ 、前記第1の方向に電流を流し、前記第二の自由層の磁化を前記第二の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c1}|$ とすると

き、次の関係を満たすことを特徴とする磁気メモリセル。

$$|I_{c3}| > |I_{c1}| \quad \text{かつ} \quad |I_{c4}| > |I_{c2}|$$

[請求項9] 請求項8記載の磁気メモリセルにおいて、前記非磁性層は、前記第一のトンネル磁気抵抗素子の第一の自由層あるいは第一の固定層と、前記第二のトンネル磁気抵抗素子の第二の自由層あるいは第二の固定層との間に磁気的な結合を生じさせない膜厚を有することを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項10] 請求項8記載の磁気メモリセルにおいて、前記第一の自由層と前記第一の固定層、前記第二の自由層と前記第二の固定層の少なくとも一組は、磁化方向が膜面垂直方向に向いている一对の垂直磁化膜からなることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項11] 請求項8記載の磁気メモリセルにおいて、
第1の情報を書き込むときは、前記第1の方向に $|I_{c3}|$ 以上の電流を流した後、電流をゼロにもどし、
第2の情報を書き込むときは、前記第2の方向に $|I_{c4}|$ 以上の電流を流し、次に前記第1の方向に $|I_{c1}|$ と $|I_{c3}|$ の間の電流を流し、次に電流をゼロへ戻し、
第3の情報を書き込むときは、前記第1の方向に $|I_{c3}|$ 以上の電流を流した後、前記第2の方向に $|I_{c4}|$ と $|I_{c2}|$ の間の電流を流し、次に電流ゼロへ戻す
ことを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項12] それぞれが磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子に流れる電流をオン・オフ制御するスイッチング素子とを有し、前記スイッチング素子を介して前記磁気抵抗素子に流れる電流により情報の書込みを行う複数の磁気メモリセルと、

前記複数の磁気メモリセルから一つを選択して情報の書込みあるいは読取りを行ための選択制御手段とを備える磁気ランダムアクセスメモリにおいて、

前記磁気抵抗素子は、非磁性層と、前記非磁性層を挟んで直列に接続された第一のトンネル磁気抵抗素子及び第二のトンネル磁気抵抗素子と、前記非磁性層を介して前記第一のトンネル磁気抵抗素子及び前記第二のトンネル磁気抵抗素子に電流を流すための一対の電極膜とを有し、

前記第一のトンネル磁気抵抗素子は、第一の障壁層と、前記第一の障壁層を挟んで設けられた第一の自由層と第一の固定層とを有し、

前記第二のトンネル磁気抵抗素子は、第二の障壁層と、前記第二の障壁層を挟んで設けられた第二の自由層と第二の固定層とを有し、

前記非磁性層に対して前記第一の固定層は前記第一の自由層より遠くに配置されると共に前記第二の固定層は前記第二の自由層より遠くに配置され、あるいは、前記非磁性層に対して前記第一の自由層は前記第一の固定層より遠くに配置されると共に前記第二の自由層は前記第二の固定層より遠くに配置され、

前記第一の自由層と前記第二の自由層の磁化方向が、前記一対の電極膜の間に流れる電流により反転し、

第 1 の方向に電流を流し、前記第一の自由層の磁化を前記第一の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c3}|$ 、前記第 1 の方向と逆の第 2 の方向に電流を流し、前記第一の自由層の磁化を前記第一の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c4}|$ 、前記第 2 の方向に電流を流し、前記第二の自由層の磁化を前記第二の固定層の磁化に対して反平行状態から平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c2}|$ 、前記第 1 の方向に電流を流し、前記第二の自由層の磁化を前記第二の固定層の磁化に対して平行状態から反平行状態に反転するのに必要な閾値電流の絶対値を $|I_{c1}|$ とするとき、次の関係を満たし、

$$|I_{c3}| > |I_{c1}| \quad \text{かつ} \quad |I_{c4}| > |I_{c2}|$$

前記選択制御手段は、前記選択した磁気メモリセルの磁気抵抗素子に、前記第1の方向に流れる $|I_{c3}|$ 以上の電流、前記第2の方向に流れる $|I_{c4}|$ 以上の電流、前記第1の方向に流れる $|I_{c1}|$ と $|I_{c3}|$ の間の電流、前記第2の方向に流れる $|I_{c4}|$ と $|I_{c2}|$ の間の電流を選択的に流すことを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

[請求項13]

請求項12記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記選択制御手段は、前記選択した磁気メモリセルへの情報の書込みに際し、

第1の情報を書き込むときは、 $|I_{c3}|$ 以上の電流を前記第1の方向に流した後、電流をゼロにもどし、

第2の情報を書き込むときは、前記第2の方向に $|I_{c4}|$ 以上の電流を流し、次に第1の方向に $|I_{c1}|$ と $|I_{c3}|$ の間の電流を流し、次に電流をゼロへ戻し、

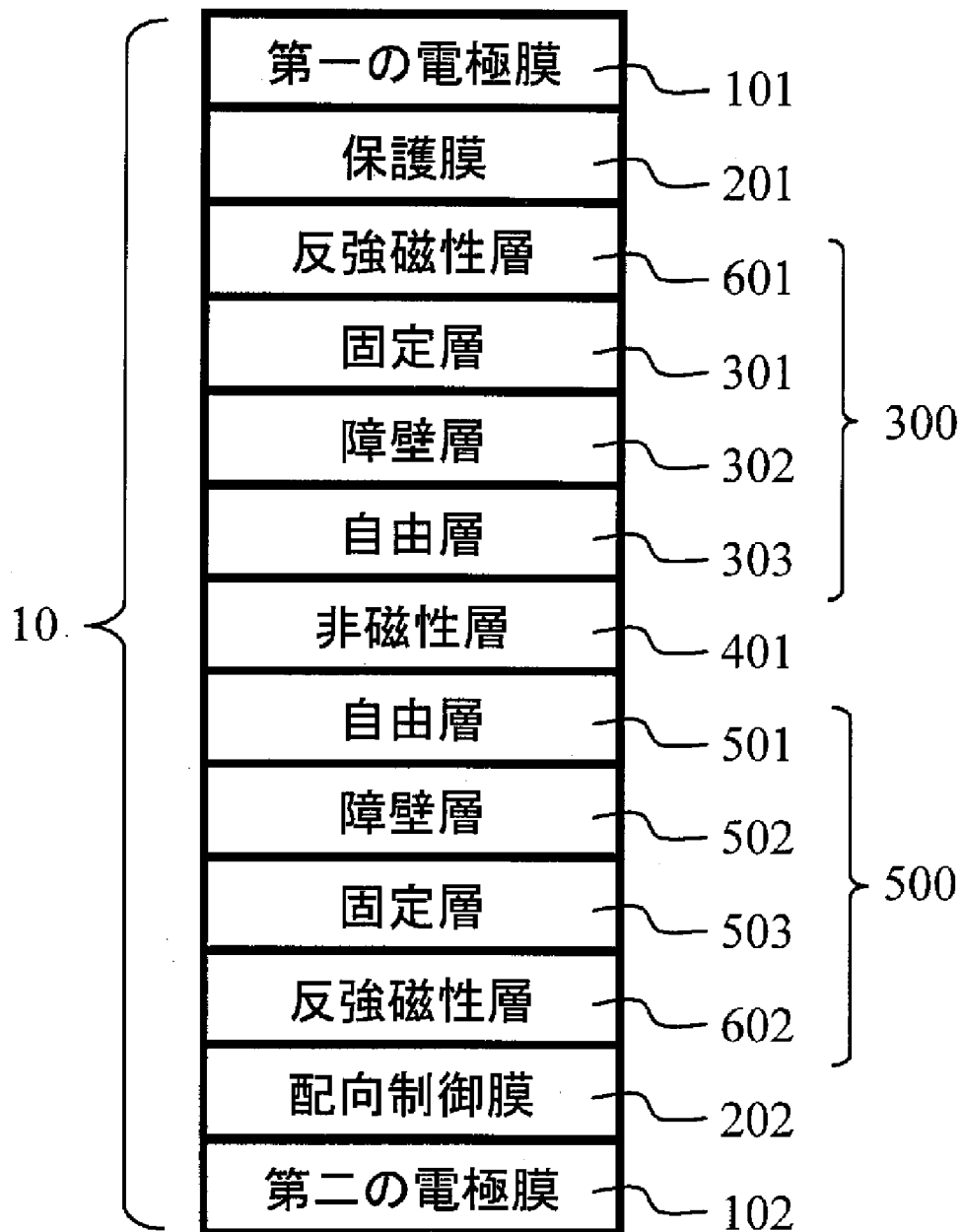
第3の情報を書き込むときは、前記第1の方向に $|I_{c3}|$ 以上の電流を流した後、前記第2の方向に $|I_{c4}|$ と $|I_{c2}|$ の間の電流を流し、次に電流ゼロへ戻す

ことを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

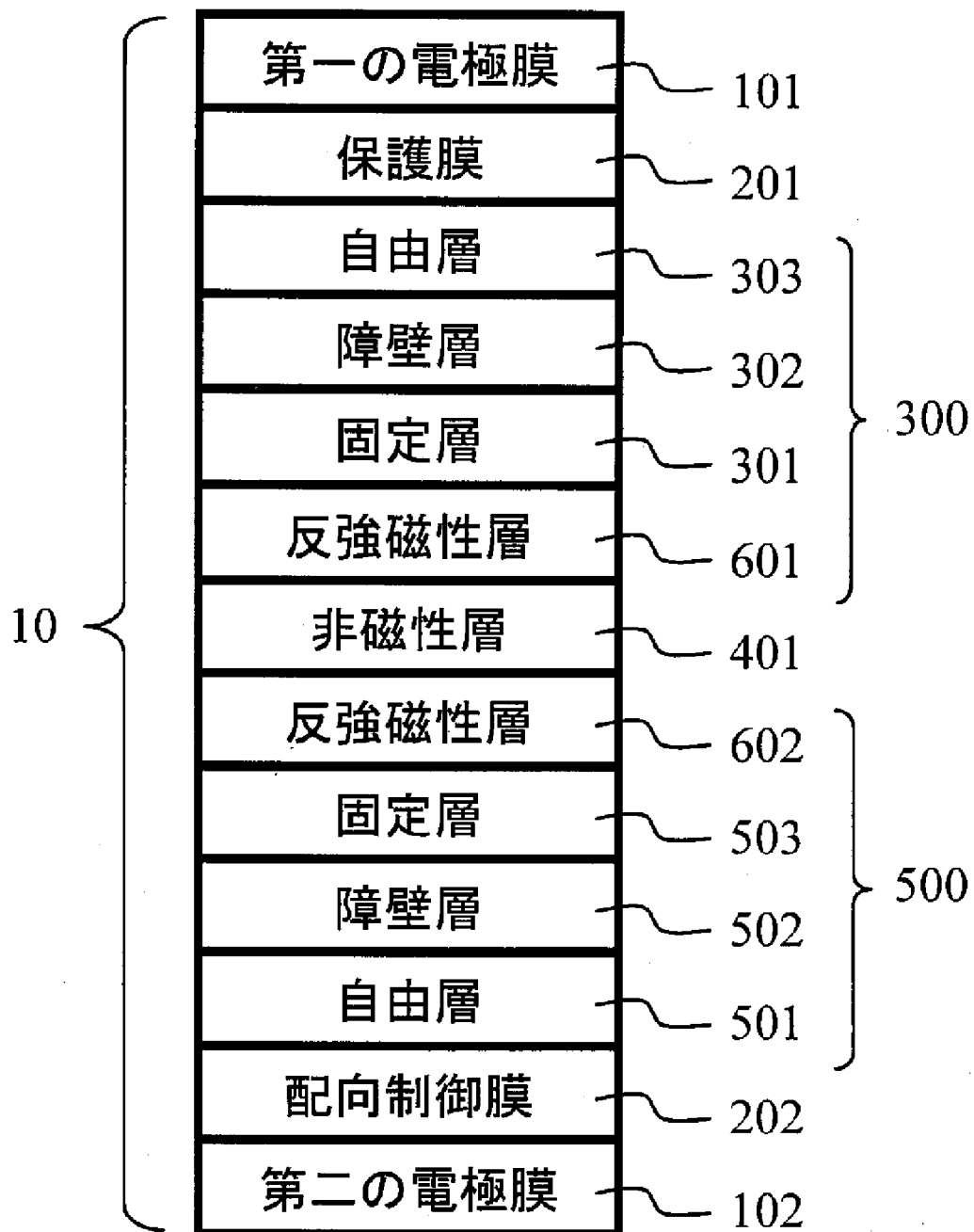
[請求項14]

請求項12記載の磁気ランダムアクセスメモリにおいて、前記第一の自由層と前記第一の固定層、前記第二の自由層と前記第二の固定層の少なくとも一組は、磁化方向が膜面垂直方向に向いている一対の垂直磁化膜からなることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

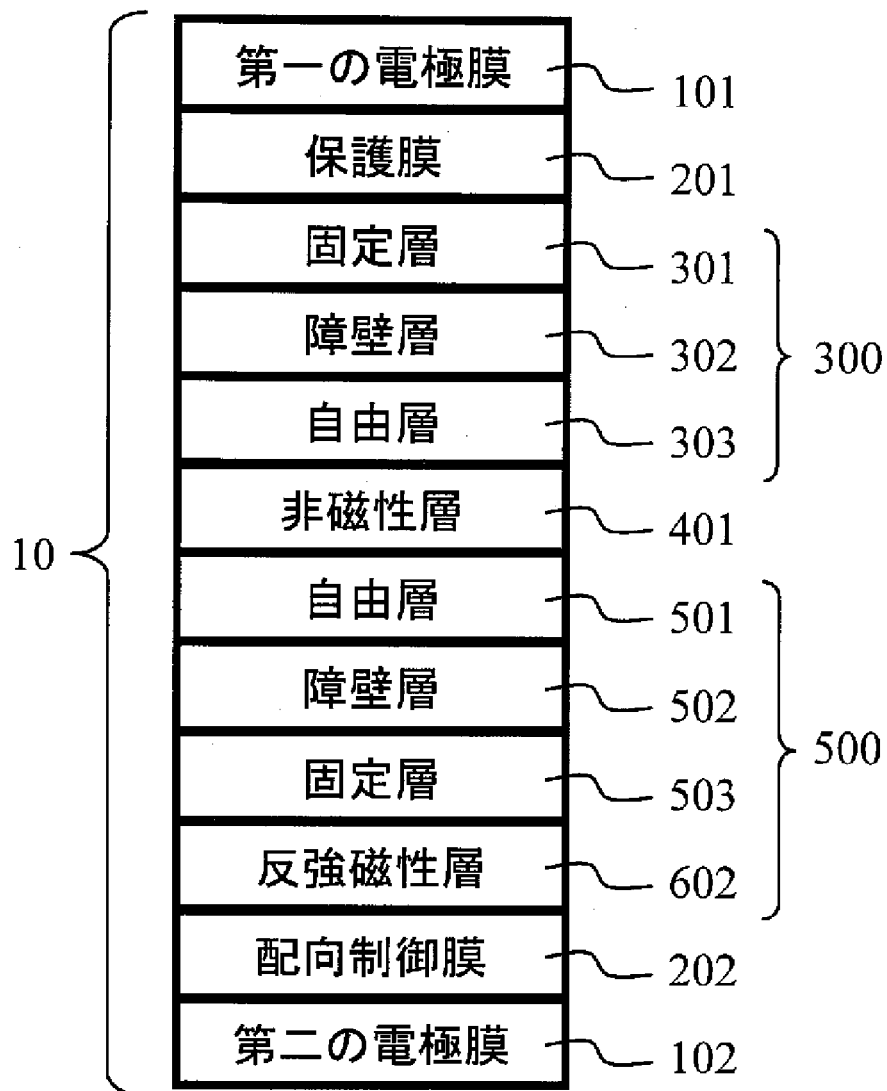
[図1]



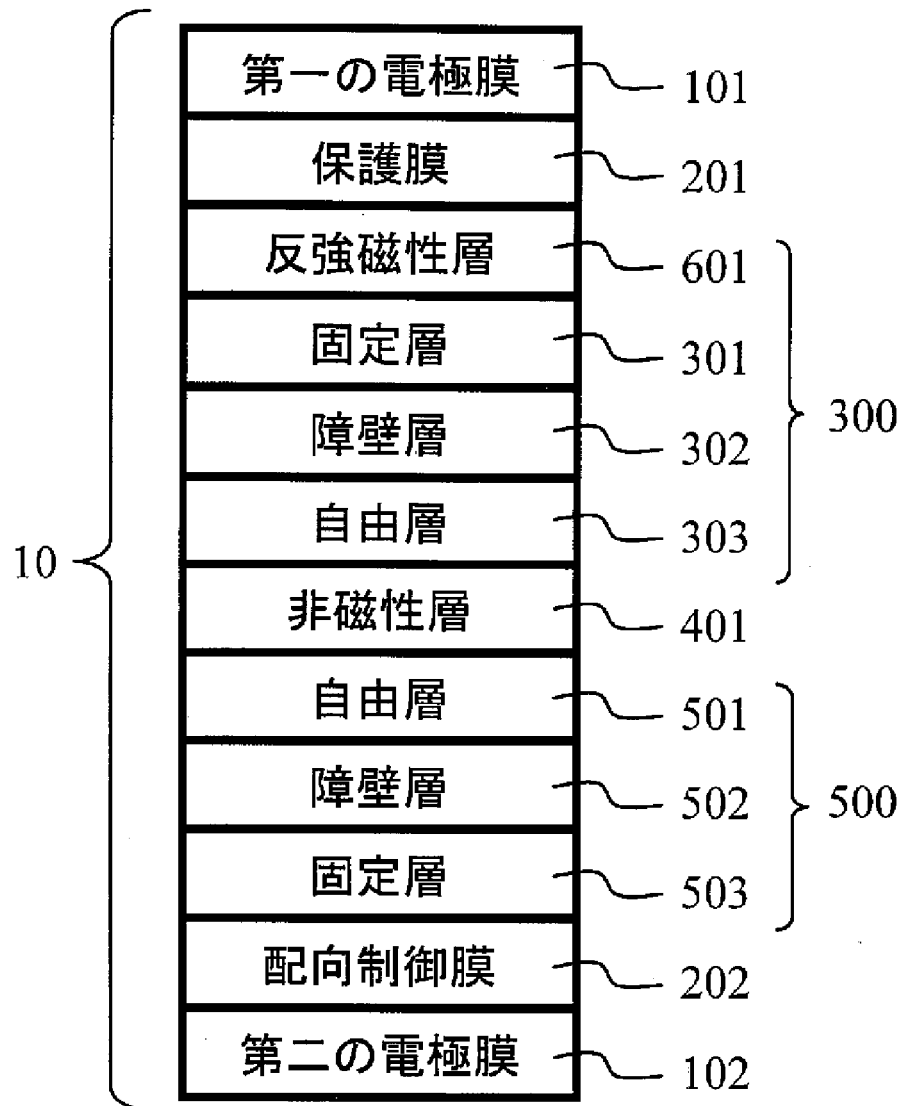
[図2]



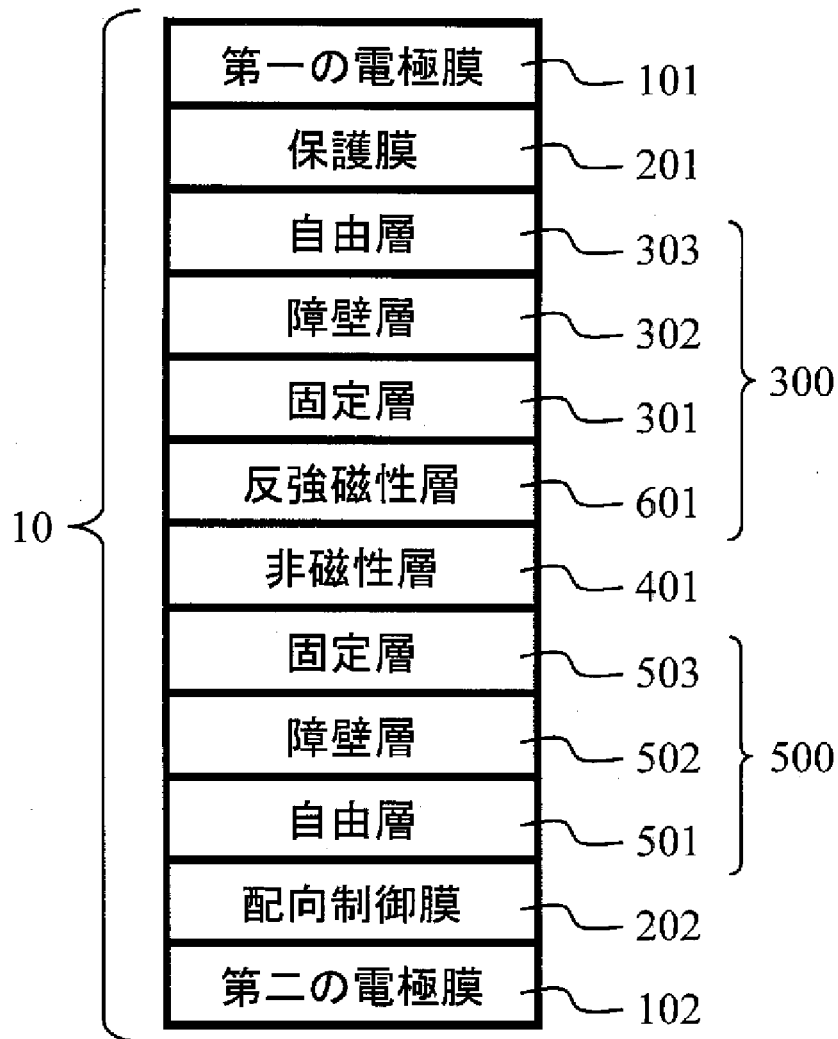
[図3]



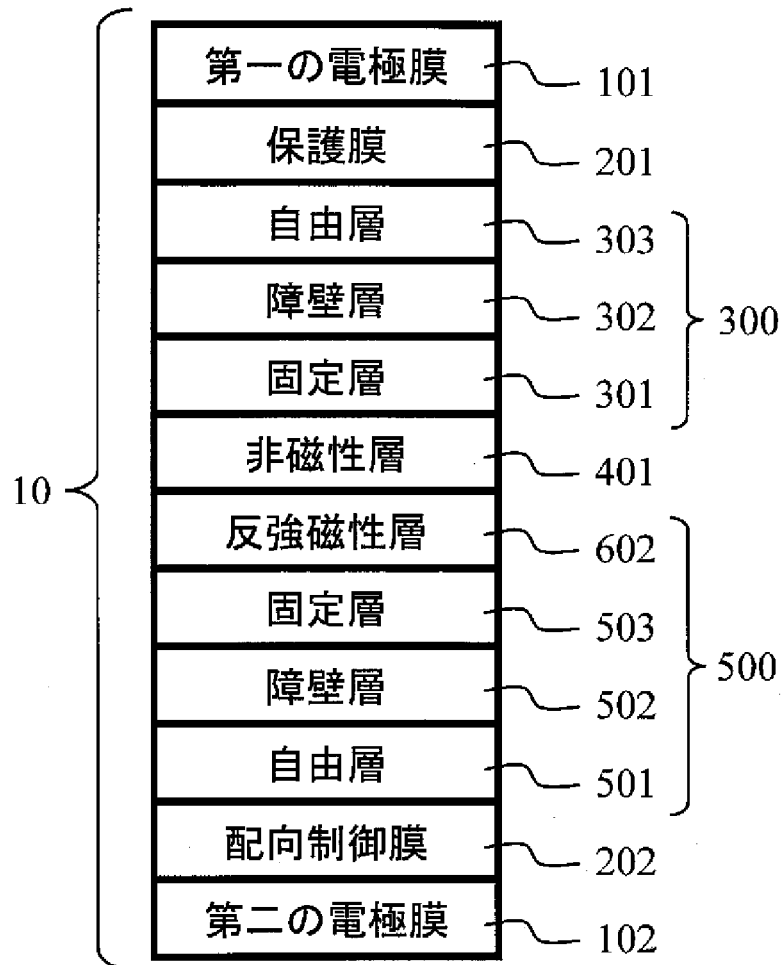
[図4]



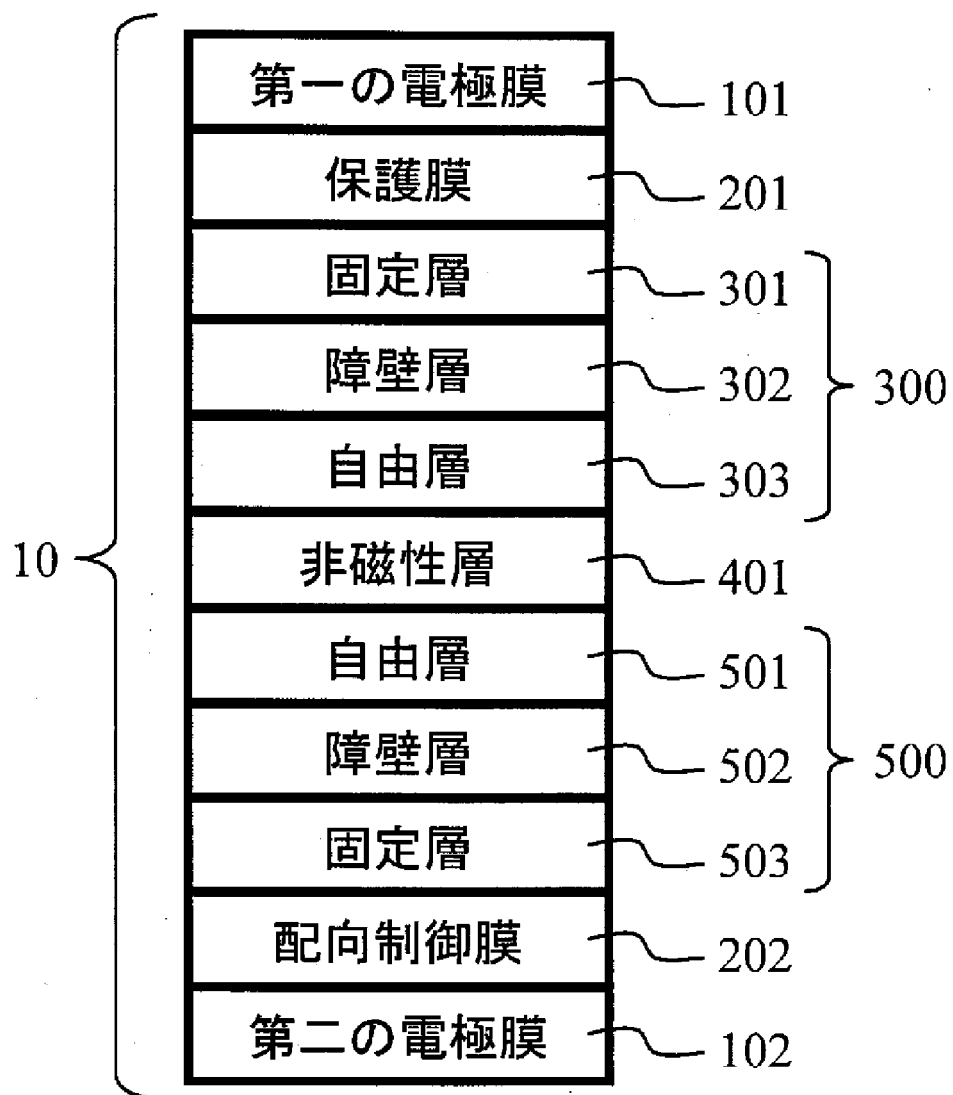
[図5]



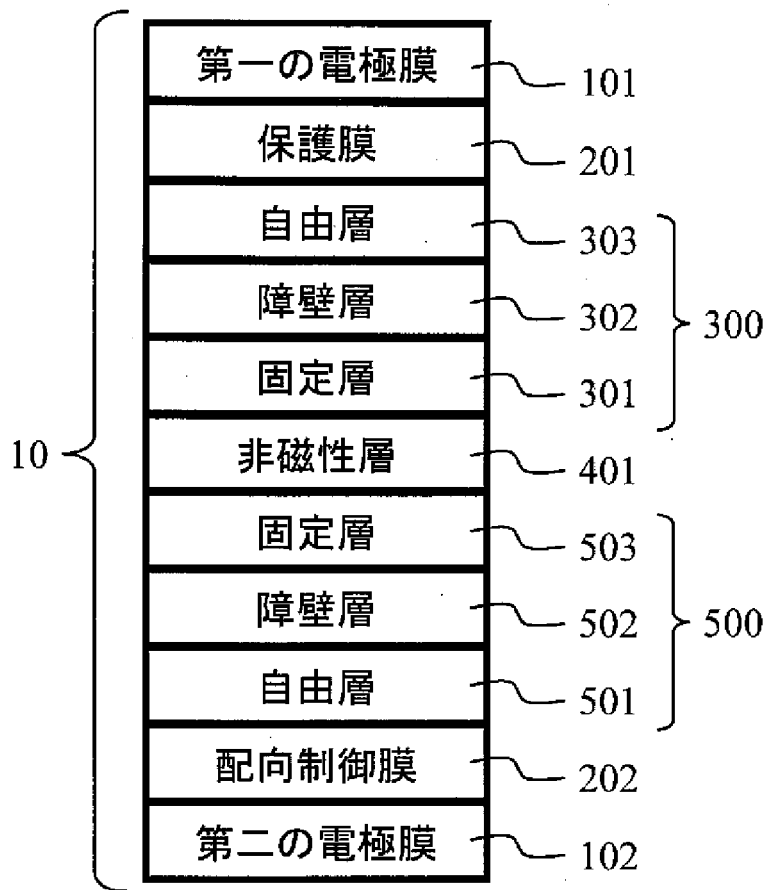
[図6]



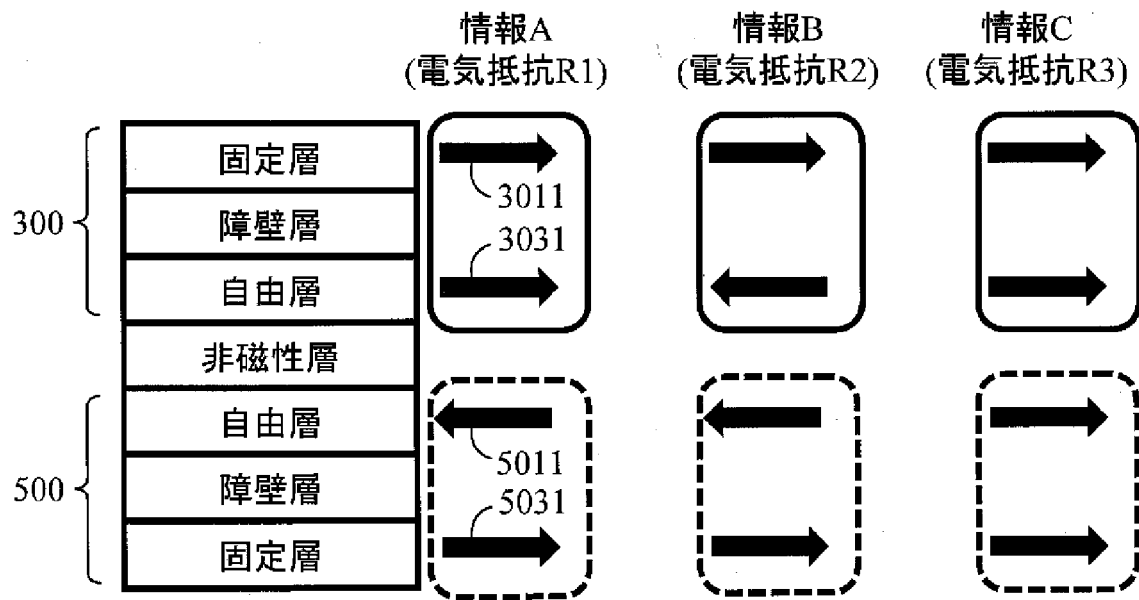
[図7]



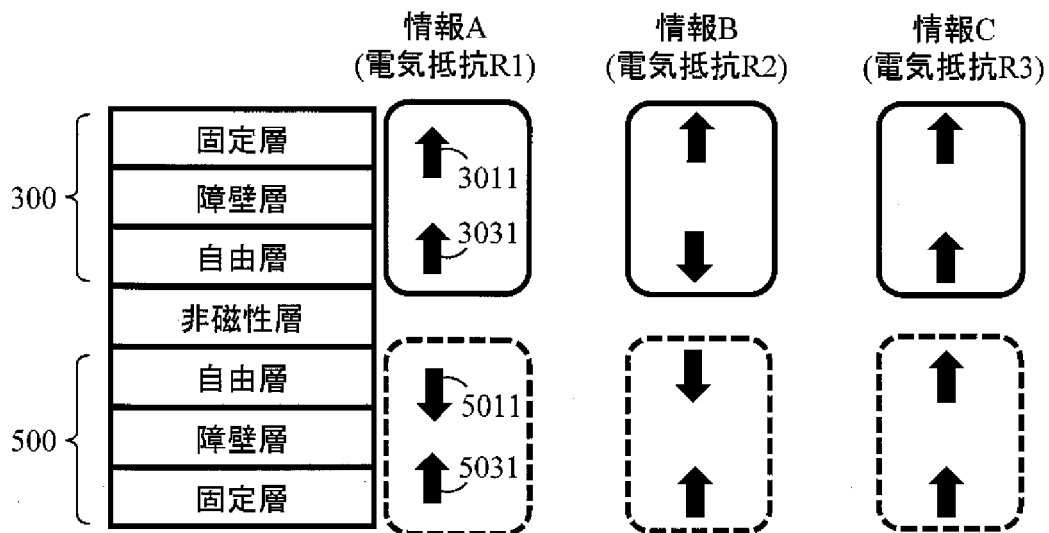
[図8]



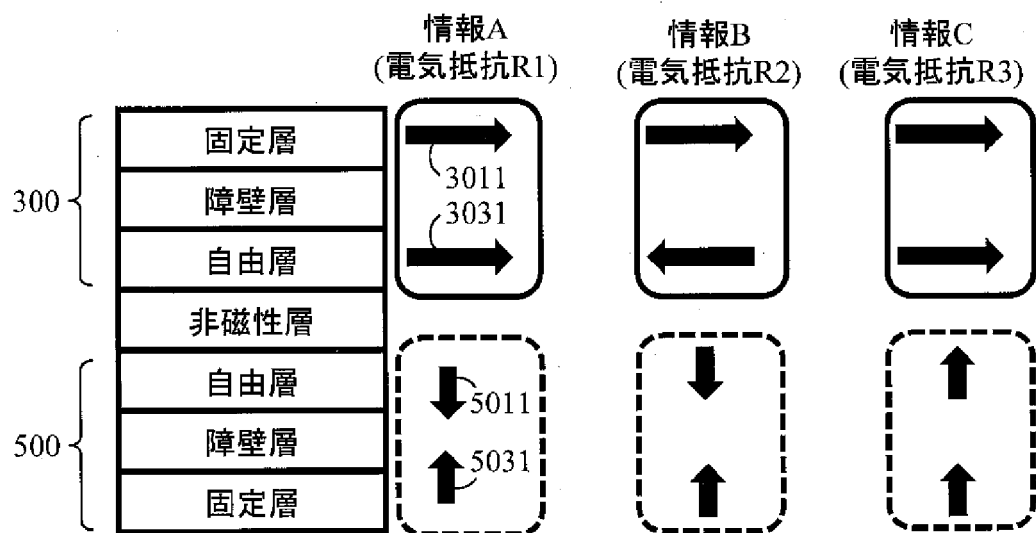
[図9]



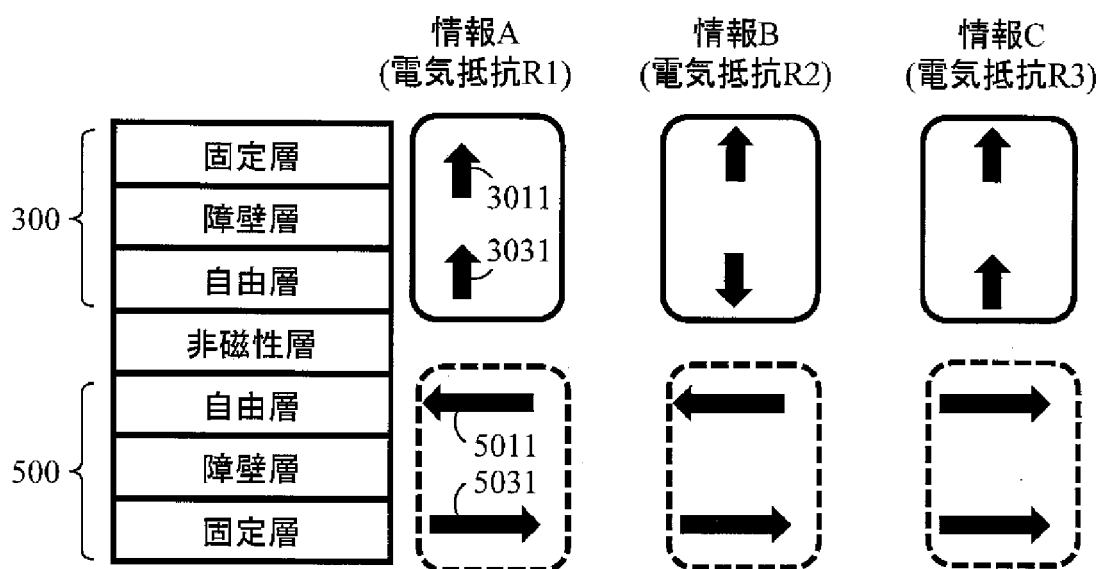
[図10]



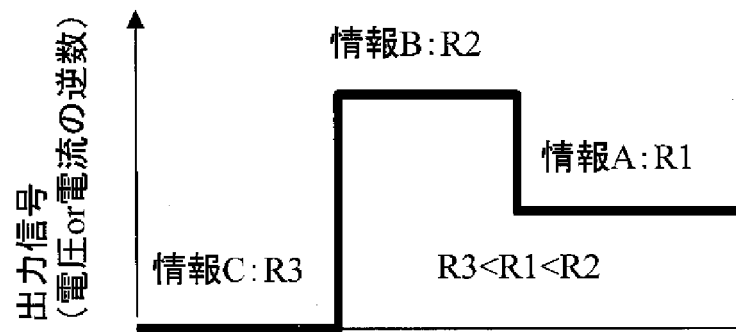
[図11]



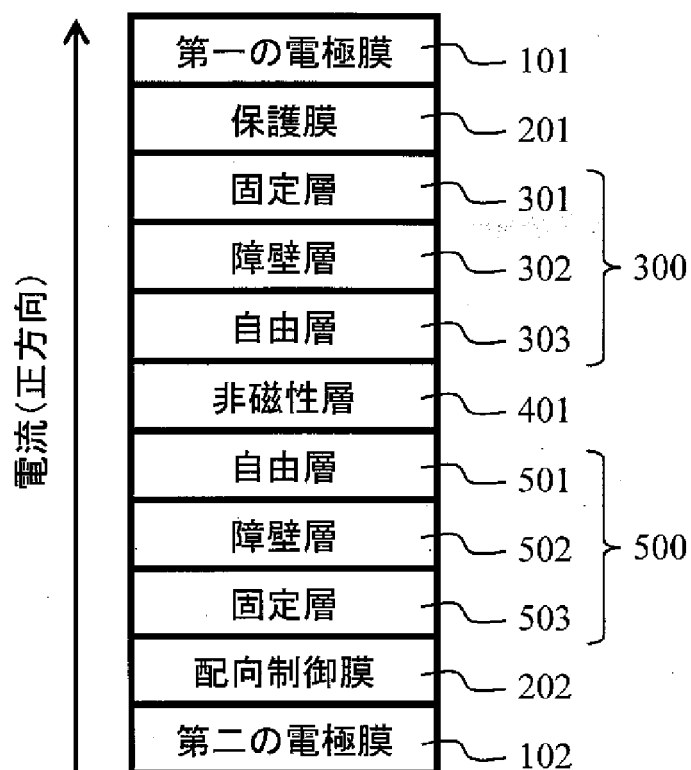
[図12]



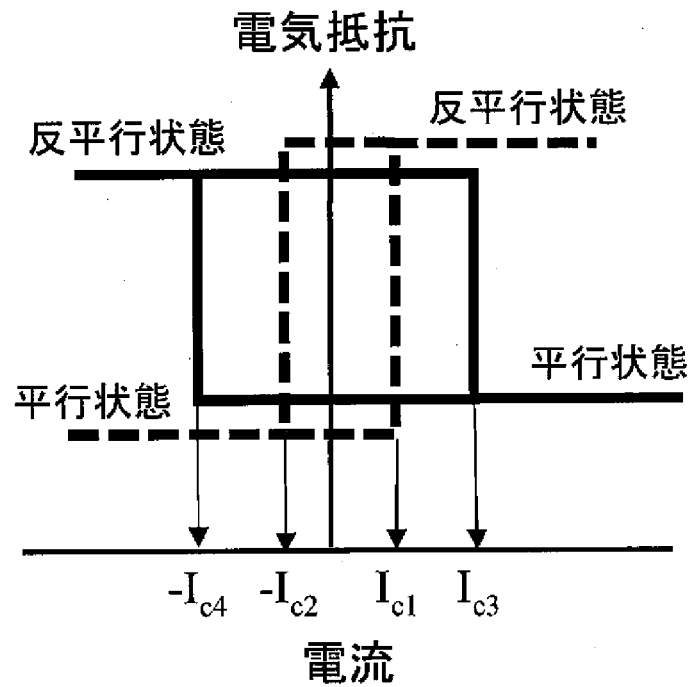
[図13]



[図14]



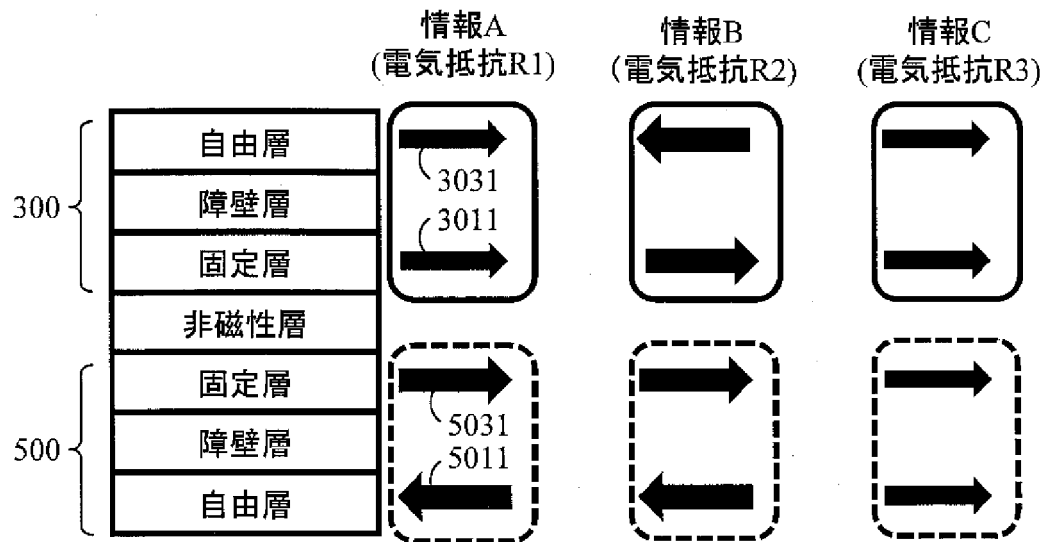
[図15]



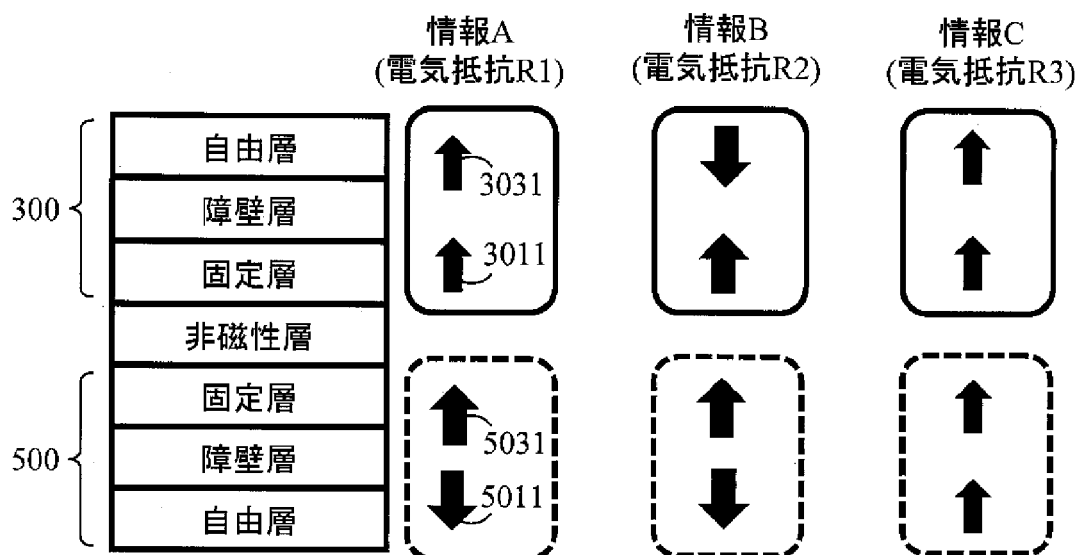
[図16]

情報形態	電流(I)の条件
情報A	$I > I_{c3}$
情報B	$I < -I_{c4}$ 印加後、 $I_{c1} < I < I_{c3}$
情報C	$I > I_{c3}$ 印加後、 $-I_{c4} < I < -I_{c2}$

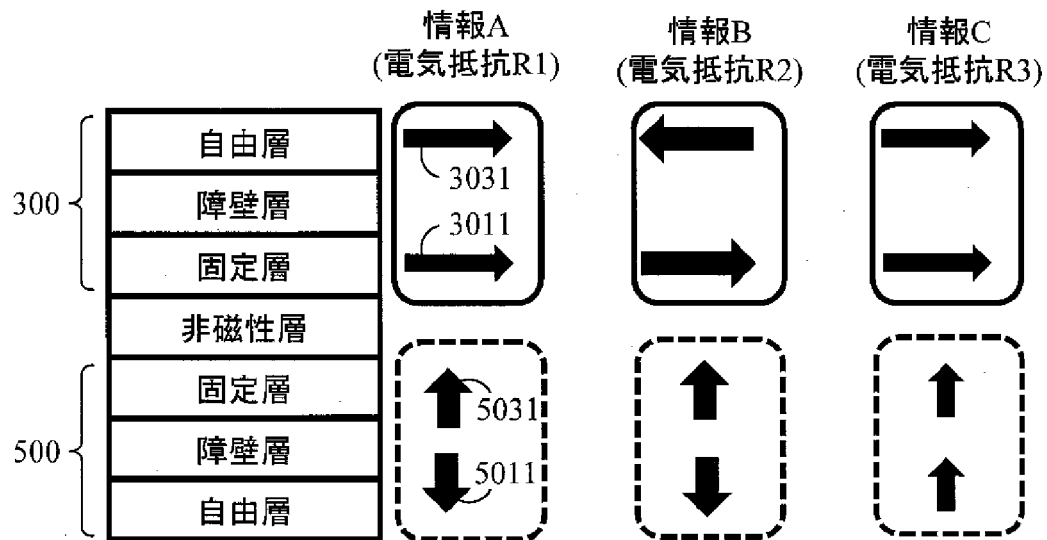
[図17]



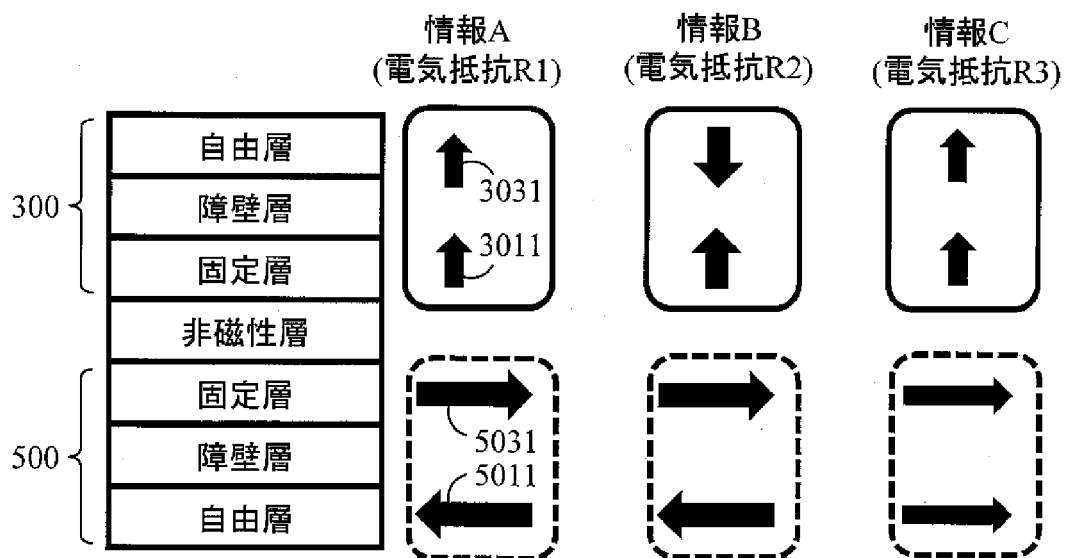
[図18]



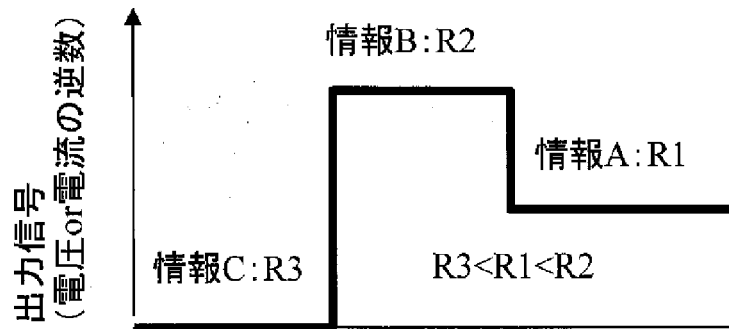
[図19]



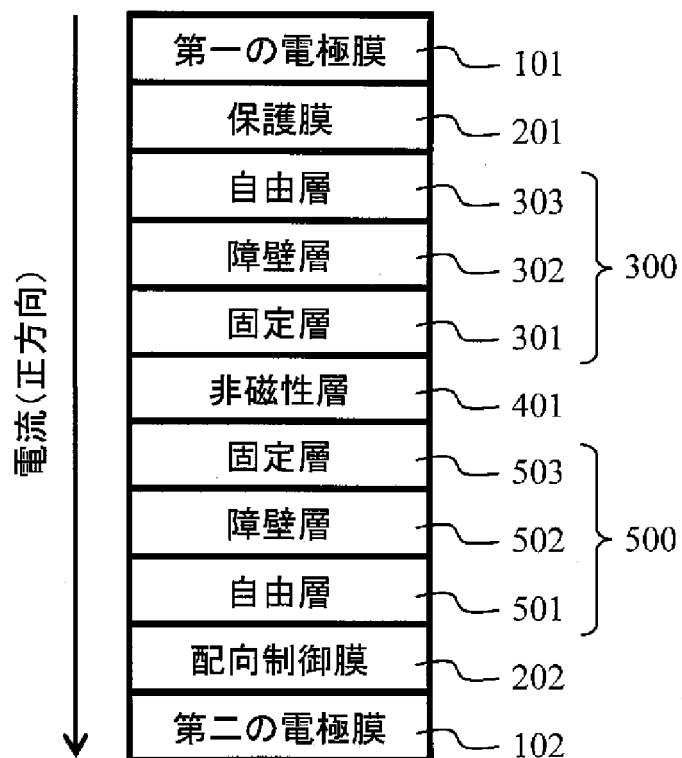
[図20]



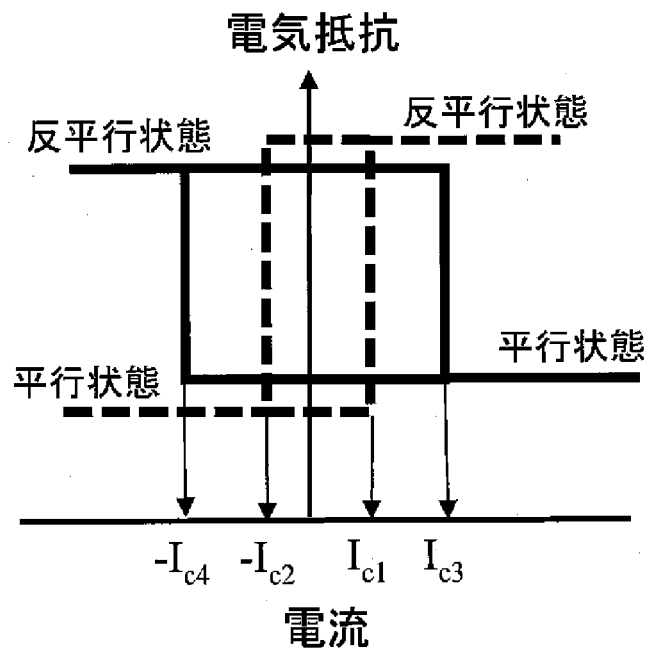
[図21]



[図22]



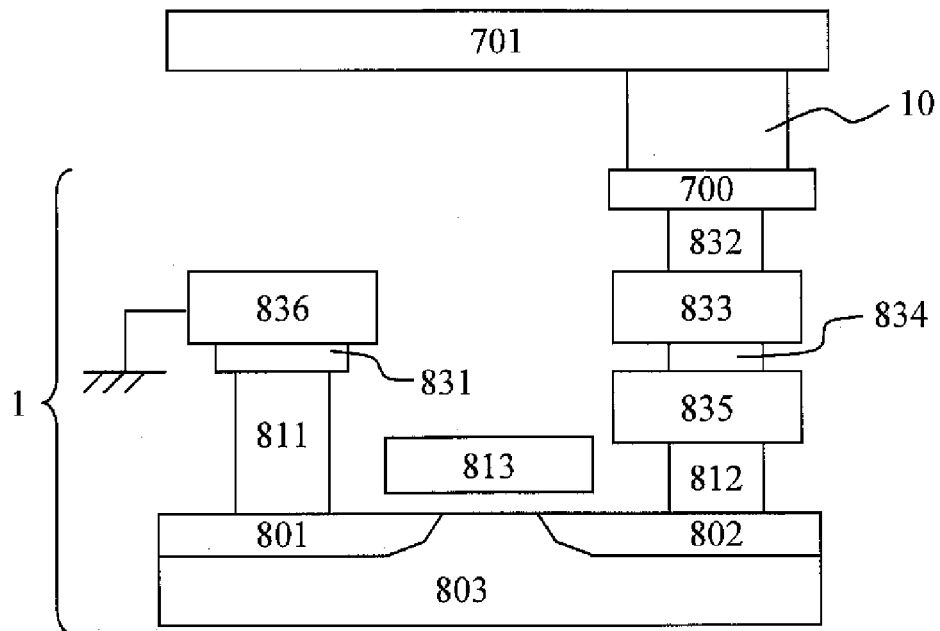
[図23]



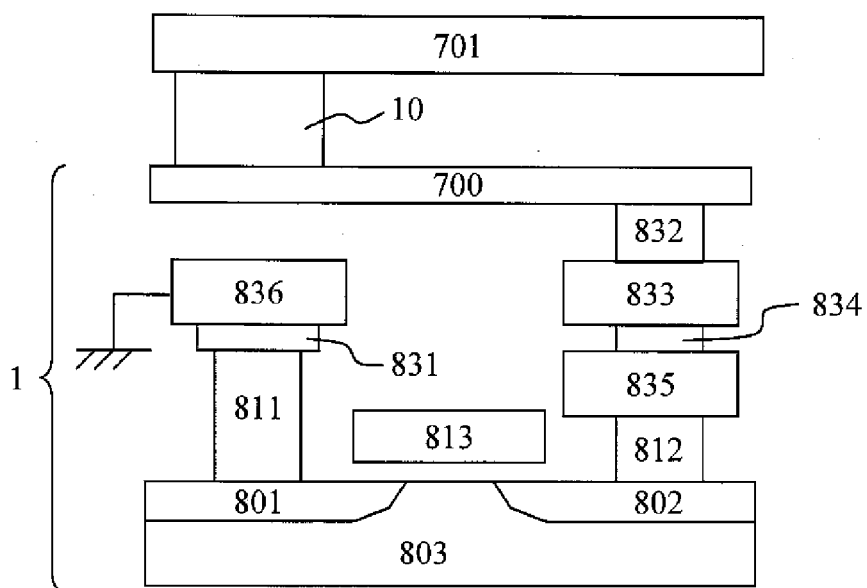
[図24]

情報形態	電流(I)の条件
情報A	$I > I_{c3}$
情報B	$I < -I_{c4}$ 印加後、 $I_{c1} < I < I_{c3}$
情報C	$I > I_{c3}$ 印加後、 $-I_{c4} > I > -I_{c2}$

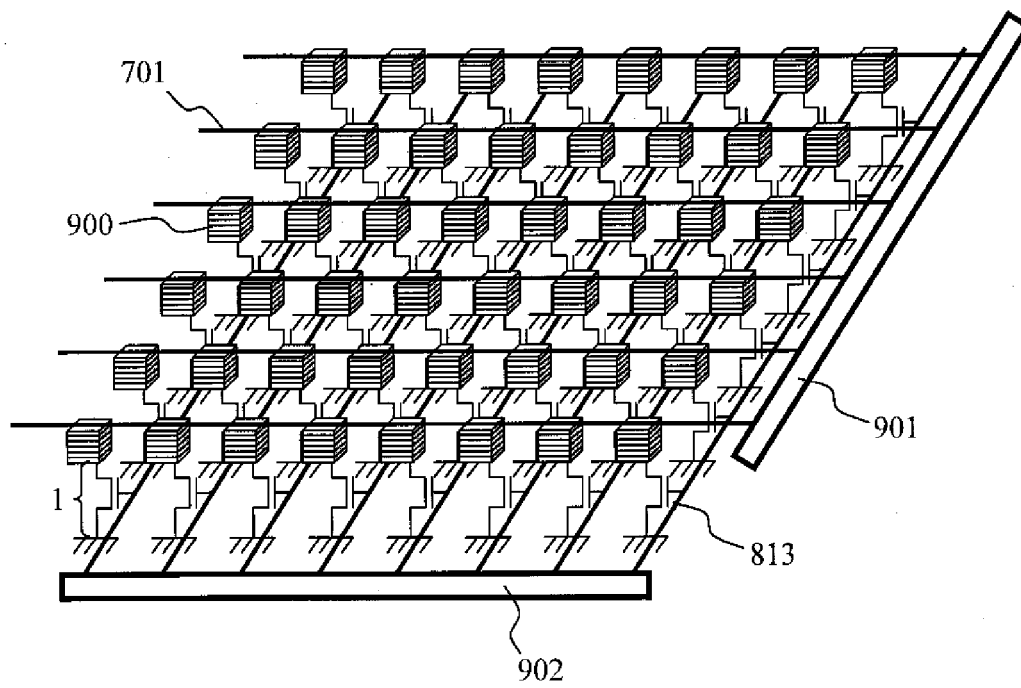
[図25]



[図26]



[図27]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065542

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i

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)

H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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 2005-310829 A (Sony Corp.), 04 November 2005 (04.11.2005), paragraphs [0026] to [0085]; fig. 1 to 6 & US 2005/0237788 A1 & KR 10-2006-0045767 A	1-14
Y	JP 2007-504651 A (Grandis, Inc.), 01 March 2007 (01.03.2007), paragraphs [0005], [0037] to [0038]; fig. 2, 4A, 4B & US 2005/0045913 A1 & EP 1658614 A & WO 2005/020242 A2 & KR 10-0713270 B1 & CN 1842874 A	1-14
Y	JP 2005-032878 A (Toshiba Corp.), 03 February 2005 (03.02.2005), paragraphs [0034] to [0129]; fig. 1 & US 2005/0041456 A1	5, 10, 14

☐ 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
06 October, 2011 (06.10.11)Date of mailing of the international search report
18 October, 2011 (18.10.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i

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 (I P C))

Int.Cl. H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 2005-310829 A (ソニー株式会社) 2005. 11. 04, 段落【0026】 - 【0085】, 図 1 - 6 & US 2005/0237788 A1 & KR 10-2006-0045767 A	1 - 14
Y	JP 2007-504651 A (グランディス インコーポレイテッド) 2007. 03. 01, 段落【0005】, 【0037】 - 【0038】, 図 2, 4A, 4B & US 2005/0045913 A1 & EP 1658614 A & WO 2005/020242 A2 & KR 10-0713270 B1 & CN 1842874 A	1 - 14

☒ 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矛盾するものではなく、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

0 6 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 8 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三浦 尊裕

4 M

3 7 7 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 6 2

C (続き) . 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 2005-032878 A (株式会社東芝) 2005.02.03, 段落【0034】 - 【0129】, 図1 & US 2005/0041456 A1	5, 10, 14