

(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
2010年3月4日(04.03.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/024201 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/064661
- (22) 国際出願日: 2009年8月21日(21.08.2009)
- (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 2008-219998 2008年8月28日(28.08.2008) 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). 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大野英男 (OHNO, Hideo) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 池田正二 (IKEDA, Shoji) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 長谷川晴弘 (HASEGAWA, Haruhiro) [JP/JP];

〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 三浦勝哉 (MIURA, Katsuya) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内 Saitama (JP). 早川純 (HAYAKAWA, Jun) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内 Saitama (JP).

- (74) 代理人: 平木祐輔 (HIRAKI, Yusuke); 〒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, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

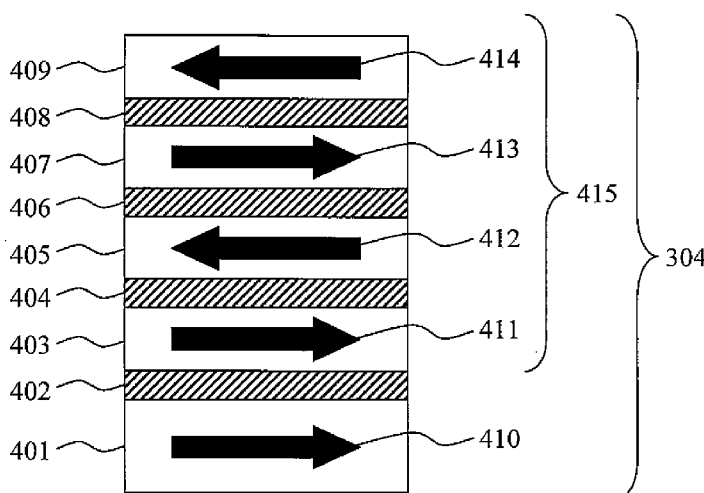
[続葉有]

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT HAVING MULTI-LAYERED FERRY STRUCTURE, MAGNETIC MEMORY, AND MAGNETIC RANDOM ACCESS MEMORY

(54) 発明の名称: 多層積層フェリ構造を備えた磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び磁気ランダムアクセスメモリ

[図4]

図 4



(57) Abstract: A high thermal stability constant is achieved in a magnetoresistive element applied to a memory cell of a magnetic memory. A free layer (415) of a magnetoresistive element (304) performs write-in by using a current magnetization inversion by spin transfer torque. The free layer (415) is formed by three or more ferromagnetic layers (403, 405, 407, 409) layered via non-magnetic antiparallel coupling layers (404, 406, 408). The ferromagnetic layers constituting the free layer have magnetization directions (411 - 414) parallel or antiparallel to the magnetization direction (410) of a fixed layer. The two ferromagnetic layers arranged to sandwich the antiparallel coupling layers have magnetization directions antiparallel to each other. Moreover, the sum of the volume of the ferromagnetic layer having a single magnetization direction and the magnetization product is set substantially identical to the sum of the volume of the ferromagnetic layer having a magnetization direction antiparallel to the aforementioned direction and the magnetization product.

(57) 要約:

[続葉有]



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(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, 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))

磁気メモリのメモリセルに適用される磁気抵抗効果素子において高い熱安定性定数を実現する。 ス
ピントランスファートルクによる電流磁化反転を用いて書き込みを行う磁気抵抗効果素子 304 の自由
層 415 を、非磁性の反平行結合層 404、406、408 を介して積層された 3 層以上の強磁性層 4
03、405、407、409 により構成した。自由層を構成する複数の強磁性層の磁化方向 411-
414 は固定層の磁化方向 410 と平行あるいは反平行であり、反平行結合層を挟んで設けられた 2 つ
の強磁性層の磁化方向は互いに反平行である。また、磁化方向が一方を向いた強磁性層の体積と磁化の
積の和は、磁化方向がそれと反平行を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和と略等しく設定した。

明 細 書

発明の名称：

多層積層フェリ構造を備えた磁気抵抗効果素子、磁気メモリ及び磁気ランダムアクセスメモリ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子及びそれを用いる磁気メモリ、磁気ランダムアクセスメモリに関する。

背景技術

[0002] 現在、ダイナミック・ランダムアクセスメモリ（DRAM）に代表されるメモリの分野では高速、高集積、低消費電力という3つの要求を満たす、新しいメモリの研究開発が世界中で行われている。これらの条件を満たし、さらに不揮発性を有するメモリの候補として、磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）は非常に期待されている。

[0003] MRAMは、磁気抵抗効果素子にビット情報を記録する。磁気抵抗効果素子は、非磁性層を2つの強磁性層で挟んだ3層構造を基本構造とする。強磁性層の一方（固定層）は磁化方向が固定されており、他方（自由層）は磁化方向が可変である。強磁性層の磁化方向が互いに平行のとき低抵抗に、反平行のとき高抵抗になる。MRAMでは、この抵抗変化をビット情報の「0」と「1」に対応させる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2007-294737号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 磁気抵抗効果素子をメモリセルに用いたMRAMでは、書き込みの対象とされる「0」と「1」のビット情報に応じて、スピントランスファートルク

による電流磁化反転を用いて書き込みを行う。「0」を「1」に書き換える際は、電子が自由層から固定層に向かって移動する向きに電流を印加する。この場合、自由層を通過して固定層に到達した電子は、固定層の磁化方向と同じ向きにスピン分極している電子のみ固定層を通過し、逆向きにスピン分極した電子は反射される。この反射された電子が自由層にトルクを与え、電流がある閾値を超えたとき、自由層の磁化は固定層と逆向きになるように反転する。従って、磁気抵抗効果素子は高抵抗になる。逆に「1」を「0」に書き換える際は、電子が固定層から自由層に向かって移動する向きに電流を印加する。固定層を通過した電子は、固定層と同じ向きにスピン分極されている。この電子が自由層にトルクを与えるため、自由層の磁化は、固定層と同じ向きになるように反転する。従って、磁気抵抗効果素子は低抵抗になる。この電流の閾値は、セルトランジスタの特性から $200\ \mu\text{A}$ 以下である。従って、磁気抵抗効果素子の書き込み電流密度を下げる必要がある。

[0006] 一方、読み出しでは、「0」もしくは「1」の情報に対応した、磁気抵抗効果素子の抵抗の値を区別する必要がある。一般的には、磁気抵抗効果素子に電圧を与えておき、ある時間に電圧を引き抜いた際の、電圧の減衰の違いから区別する。即ち、高い抵抗の場合はゆっくりと電圧が減衰するのに対し、低い抵抗の場合は急激に電圧が減衰する。したがって、読み出しの際も、書き込みの際と同様に磁気抵抗効果素子には電流が流れる。このため、読み出し電流でも自由層の磁化がトルクを受けてしまい、読み出し中に誤って書き込みが行われてしまう読み出しディスタースが起こる。

[0007] 読み出しディスタースを抑制するためには、磁気抵抗効果素子の自由層の熱安定性定数を増大させる必要がある。熱安定性定数は、磁化が反転するために必要なエネルギー E と、外部の熱エネルギー $k_B T$ (k_B はボルツマン定数、 T は温度) との比 $E/k_B T$ で定義される物理定数である。MRAM の記録保持時間を、不揮発性メモリに必要な 10 年とし、Dynamic RAM (DRAM) のエラー率と同等まで抑えたと、熱安定性定数は 40 から 60 以上が必要である。

[0008] M R A Mに適用される磁気抵抗効果素子は、これらの条件を同時に満たす必要があるが、書き込み電流密度の低減と熱安定性定数の増大は基本的にはトレードオフの関係にある。このため、これらの条件を両立することは、非常に難しい課題とされてきた。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明では、スピントランスファートルクによる電流磁化反転を用いて書き込みを行う磁気抵抗効果素子の自由層を、非磁性の反平行結合層を介して積層された3層以上の強磁性層により構成した。自由層を構成する複数の強磁性層の磁化方向は固定層の磁化方向と平行あるいは反平行であり、反平行結合層を挟んで設けられた2つの強磁性層の磁化方向は互いに反平行である。また、磁化方向が一方を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和は、磁化方向がそれと反平行な方向を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和と略等しい。

[0010] 本発明による磁気メモリセルは、上記磁気抵抗効果素子と、磁気抵抗効果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備える。

[0011] また、磁気ランダムアクセスメモリは、複数の磁気メモリセルと、所望の磁気メモリセルを選択する手段とを備える。

発明の効果

[0012] 本発明によると、書き込み電流を大きく増大させることなく、熱安定性を向上させた磁気メモリを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1] 本発明を適用した磁気抵抗効果素子の書き込み原理を示した模式図。

[図2] 本発明を適用した磁気抵抗効果素子の保磁力増大を示した模式図。

[図3] 磁気メモリのメモリセル断面図。

[図4] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図5] 磁気ランダムアクセスメモリの模式図。

[図6] 自由層を構成する強磁性層の層数をパラメータとした、磁気抵抗効果素子の書き込み電流密度と熱安定性定数の関係を示す図。

[図7] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図8] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図9] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図10] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明を適用した磁気メモリ及び磁気抵抗効果素子について、図面を参照して詳細に説明する。

[0015] 最初に、本発明の磁気抵抗効果素子によって、書き込み電流密度の低減と、熱安定性定数の増大を実現する原理について以下に説明する。ここでは、自由層を非磁性の反平行結合層を介して積層した4層の強磁性層によって構成した場合を例にとって説明する。なお、4層の強磁性層は、それぞれ膜厚が等しく、同じ材料からなるものとし、固定層に近い側から第1の強磁性層、第2の強磁性層、第3の強磁性層、第4の強磁性層という。

[0016] 従来からあるいわゆる積層フェリ構造の場合、強磁性層は2層である。特許文献1にあるように、2層の場合は、スピントランスファートルクによる電流磁化反転は実験的に実証されている。4層の場合は2層に比べて体積が大きくなるため、スピントランスファートルクによる磁化反転が起こりにくいとされていた。しかし、以下に説明するように、それぞれ略反平行に磁化が結合した4層の強磁性層をスピンの通過する場合、各層でスピントランスファートルクによる角運動量の授受があることが明らかになった。

[0017] 図1は、電子が下から上に移動する場合の、電子1つが各層の磁化に対して角運動量の授受を行っている様子を模式的に示したものである。図1(a)は、電子が固定層101を通過して、固定層101の磁化と同方向のスピンを持っていることを示している。図1(b)では、電子は自由層102の第1の強磁性層の磁化を電子のスピンと同方向に向けようとし、角運動量の授受を行っている。このとき、角運動量は保存するため、電子のスピンは逆方向のトルクを受ける。図1(c)では、電子は自由層102の第2の強磁性層と角運動量の授受を行っている。本発明の磁気抵抗効果素子では、自由

層を構成する強磁性層は4層あり、それぞれに対して電子は角運動量の授受を行っている。このため、自由層を構成する4層の強磁性層の材料と膜厚が等しい場合、角運動量の保存を考えると、図1（f）に示されるように、自由層を通過した電子の角運動量は、原理的には図1（a）に示される電子と同じ状態になる。つまり、電子の角運動量は最初と最後の状態で変化がないため、電子は自由層を構成する4層の各強磁性層に効率よくトルクを与えることができ、書き込み電流密度は体積が大きくなっても増大しないことになる。電子が逆向きに移動する場合も、同様の効果が得られる。

[0018] また、熱安定性定数は自由層の保磁力に比例する。保磁力とは、磁化を一つの方向に止めようとする力を磁界の大きさで表した量である。図2（a）に示すように、本発明を適用した磁気抵抗効果素子の自由層102の第1の強磁性層（固定層101に最も近い強磁性層）の磁化の向きと同じ方向に磁界がかかった場合を考える。このとき、図2（b）に示すように、自由層102の第2の強磁性層の磁化と第4の強磁性層の磁化は磁界の方向を向こうとし、その方向が傾く。これにつられて、第2の強磁性層の磁化や第4の強磁性層の磁化と反平行に結合している、第1の強磁性層の磁化及び前記第3の強磁性層の磁化も方向を変える（図2（c））。ここで、第1の強磁性層の磁化及び第3の強磁性層の磁化は再び磁界の方向を向こうとするため（図2（d））、第2の強磁性層の磁化及び第4の強磁性層の磁化は元の向きに戻される（図2（e））。この釣り合いの関係のため、保磁力は増大する。

[0019] また、熱安定性定数は、外部からの磁界によって減少することが知られており、これには磁気抵抗効果素子自身の漏れ磁界も影響する。しかし、自由層の第1、第2、第3、第4の強磁性層の磁化は互いに略反平行に結合しているから、各強磁性層から出る磁力線が閉じる。従って、これらの強磁性層から、固定層に磁界がかかることがなく、他の構造と比べて熱安定性は向上する。

[0020] さらに、熱安定性定数は、磁気抵抗効果素子の自由層の体積に比例する。上記磁気抵抗効果素子では、自由層を構成する強磁性層は4層であり、従来

構造の２層の場合に比べて大きくなり、熱安定性定数は増大する。

[0021] 以下、実施例により本発明をより詳細に説明する。

[0022] 図３に、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリのメモリセル３００を示す。このメモリセル３００は、相互に平行に並べられた複数のビット線３０１と、ビット線３０１と平行であり且つ互いに平行に並べられた複数のソース線３０２と、ビット線３０１と交差し且つ互いに平行に並べられた複数のワード線３０３を有する。ビット線３０１とワード線３０３とが交差する部分には、磁気抵抗効果素子３０４が配置されている。磁気抵抗効果素子３０４は、上部がビット線３０１と電氣的に接続されている。磁気抵抗効果素子３０４の下部は、第１のメタル配線層３０５を介してトランジスタのドレイン電極３０６に電氣的に接続されている。また、ソース線３０２は第２のメタル配線層３０７を介して、トランジスタのソース電極３０８に電氣的に接続されている。ワード線３０３はトランジスタのゲート電極に電氣的に接続されている。

[0023] 磁気抵抗効果素子の例を図４に示す。図４に示した、磁気抵抗効果素子３０４は、非磁性４０２を挟んで磁化方向が固定されている固定層（強磁性層）４０１と、自由層４１５とが積層された構造を有する。自由層４１５は、磁化方向が可変である第１から第４の強磁性層４０３、４０５、４０７、４０９と、その間に形成された非磁性の反平行結合層４０４、４０６、４０８とを備える。強磁性層の磁化方向は磁気異方性を付与することにより、２方向（＋方向と－方向）に限定した。第１の強磁性層４０３の磁化方向４１１と第２の強磁性層４０５の磁化方向４１２は略反平行であり、磁化方向４１２と第３の強磁性層４０７の磁化方向４１３は略反平行であり、磁化方向４１３と第４の強磁性層４０９との磁化方向４１４は略反平行である。自由層４１５はいわゆる積層フェリ構造を４層にしたものである。

[0024] 図５には、メモリアレイの模式図を示した。メモリセルを構成する複数の磁気抵抗効果素子３０４がアレイ状に配置されている。書き込みの際は、選択したビット線３０１とソース線３０２の間に書き込みたいビット情報に対

応した電圧を加え、ワード線 303 に電圧を与えることによりメモリセルのセルトランジスタをオン状態にする。トランジスタがオン状態になると、磁気抵抗効果素子 304 に書き込みたいビット情報に対応した向きの電流が流れるため、スピントランスファートルクが磁気抵抗効果素子 304 の自由層 415 に働き、磁化反転が起こる。

[0025] 本例の磁気抵抗効果素子 304 では、自由層の中の強磁性層は全て同じ材料からなる等膜厚の 4 層とした。このため、自由層を構成する強磁性層の磁化方向は 2 種類であるが、磁化方向が＋方向である強磁性層と－方向である強磁性層の数は同じである。強磁性層が等膜厚であることから、磁化方向が＋方向である強磁性層の体積と－方向である強磁性層の体積は同じである。従って、異なる向きの磁化量で決まる自由層の保磁力は増大する。また、磁力線が自由層で閉じる効果のため、磁気抵抗効果素子の端面からの漏れ磁場がなく熱安定性の低減を抑えることができる。さらに、強磁性層が 4 層であることから、従来の強磁性層が 2 層の積層フェリ構造よりも体積が大きく、熱安定性を向上することができる。

[0026] 図 6 に、自由層を構成する強磁性層が 3 層、4 層、5 層、6 層の場合の熱安定性定数と書き込み電流密度の分布の実験データを示した。自由層を構成する強磁性層の材料は全て同じで、膜厚も等しい。熱安定性定数に着目すると、本発明を適用した場合の熱安定性定数は、4 層の場合が 52、6 層の場合が 78 と、50 以上になった。3 層及び 5 層の場合は、熱安定性定数はそれぞれ 38、35 になった。これは、層数が奇数の場合、磁化方向が＋方向である強磁性層の体積と－方向である強磁性層の体積が同じにならず、磁力線が自由層で閉じないため、漏れ磁場が発生し熱安定性定数が減少したものと考えられる。なお、層数を増しても、書き込み電流の増加は見られなかった。

[0027] 一方、自由層はその体積が大きくなると、書き込み電流密度は大きくなる。書き込み電流密度は自由層の磁化の大きさにも比例する。しかし、前述のように本発明を適用した磁気抵抗効果素子では、スピントランスファートルク

クが効率的に働く。自由層を構成する強磁性層のうち、磁化方向の異なる強磁性層の体積が同じとき、スピントランスファートルクが最も効率的に働く。従って、本発明を適用した磁気抵抗効果素子304では、体積が増大しても、書き込み電流密度はほとんど増大せず、 $6 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ となり、図6にあるように、体積が小さい3層の場合とほとんど変わらないことがわかった。

[0028] 本発明を適用するにあたり、固定層401及び自由層の第1、第2、第3、第4の強磁性層403, 405, 407, 409の材料として $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ を用いたが、この材料の異なる組成を用いても良い。また、その他の材料としては全ての強磁性体が候補となるが、スピントランスファートルクの効率及び抵抗変化率を考えるとスピン分極率の高い材料が適している。また、非磁性層402は、その上下にある固定層401の磁化方向410と自由層415の第1の強磁性層403の磁化方向411によって抵抗を変化させる役割を担う。非磁性層402の材料としては、全ての非磁性体が候補になる。また、この層には絶縁体を用いても良い。この場合、磁気抵抗効果素子はトンネル磁気抵抗効果(TMR)素子として作用し、その抵抗変化率は大きくなる。絶縁体としては、同様に全ての絶縁体が候補になるが、例えばMgOなどを用いることができる。反平行結合層404, 406, 408の材料は、これらの層を挟んだ2つの強磁性層の磁化方向を反平行に結合する役割を担う。材料としては全ての非磁性体が候補となるが、例えばRuなどを用いることができる。

[0029] 本発明の磁気メモリにおいて、磁気抵抗効果素子の自由層を構成する強磁性層を、全て同じ材料で膜厚を等しくし、層数を6層以上の偶数(nを自然数として2n層)としてもよい。これは前述のように、磁化方向が+方向である強磁性層の体積と一方向である強磁性層の体積が同じであれば、漏れ磁場の影響が現れないためである。さらに、層数が増えるとともに体積が増大し、熱安定性定数は増大する。一方、等膜厚の場合、層数が奇数であると、漏れ磁場の影響から熱安定性定数が減少するとともに、書き込み電流密度も

増大する。6層の強磁性層で自由層を構成した磁気抵抗効果素子700の概念図を図7に示す。自由層415はいわゆる積層フェリ構造を2n層にしたものである。図6に示したように、6層の場合、熱安定性定数は80となり、4層と比べて大きいにもかかわらず、書き込み電流密度はほとんど変わらないことがわかった。

[0030] 本発明の磁気抵抗効果素子は、自由層を構成する複数の強磁性層が全て同じ材料であるが、膜厚が等しくない場合には、強磁性層の層数は偶数に限定されない。即ち、自由層を構成する強磁性層のうち、磁化方向が+方向である強磁性層の体積と一方向である強磁性層の体積が等しくなるよう設計しても良い。

[0031] 図8に、その一例を示す。図8に示した磁気抵抗効果素子800は、非磁性402を挟んで磁化方向が固定されている固定層（強磁性層）401と、自由層415とが積層された構造を有する。自由層415は、磁化方向が可変である第1から第3の強磁性層403、405、407と、各強磁性層の間に配置された非磁性の反強磁性結合層404、406備える。自由層の第1の強磁性層403の磁化方向411と第2の強磁性層405の磁化方向412は略反平行であり、磁化方向412と第3の強磁性層407の磁化方向413は略反平行である。この場合、自由層415は3層構造である。

[0032] また、一例として、第1の強磁性層403と第3の強磁性層407は膜厚が等しく、第2の強磁性層405の膜厚は、第1の強磁性層403の膜厚の2倍である。したがって、自由層を構成する強磁性層のうち、磁化方向が+方向である強磁性層の体積と一方向である強磁性層の体積が等しくなる。このため、この構造では磁気抵抗効果素子端面からの漏れ磁場の影響がなく、熱安定性定数の減少を抑えることができる。さらに、スピントランスファートルクが効率的に働くこと、非磁性層404、406にスピンの蓄積する効果が働くことにより、書き込み電流密度の増大を抑制できることがわかった。

[0033] また、自由層を構成する強磁性膜403、405、407の膜厚の関係は

上記の場合に限定されるものではなく、磁化方向が＋方向である強磁性層の体積と一方向である強磁性層の体積が等しくなるよう設計していれば良い。

[0034] また、本発明の磁気抵抗効果素子は、自由層を構成する強磁性層の材料あるいは膜厚が、層ごとに異なっても良い。この場合、自由層を構成する強磁性層のうち、磁化方向が＋方向である強磁性層の体積とその強磁性層各層の磁化の積の総和が、磁化方向が一方向である強磁性層の体積とその強磁性層各層の磁化の積の総和と等しくなるよう設計すればよい。

[0035] 磁気抵抗効果素子は、固定層の磁化を固定するための反強磁性層を備えていてもよい。図9に、自由層を構成する強磁性層が4層の場合の、反強磁性層901を備えた磁気抵抗効果素子900の例を示した。この構成では、固定層401の磁化方向が反強磁性層901によって強く固定されるため、書き込み時の動作が安定化した。

[0036] また、本発明の磁気抵抗効果素子は、固定層が積層フェリ構造であってもよい。図10に、自由層415を構成する強磁性層が4層の場合に、固定層として積層フェリ構造を採用した磁気抵抗効果素子1000の例を示す。この構成の場合、強磁性層1001の磁化方向1003が、第1の反強磁性層901によって強く固定される。強磁性層401の磁化方向410と強磁性層1001の磁化方向1003は、非磁性の反平行結合層1002を介して略反平行に結合する。このため、強磁性層1001と非磁性層1002と強磁性層401が固定層として作用し、この部分の漏れ磁場は抑制される。強磁性層1001の膜厚と磁化の積と、強磁性層401の膜厚と磁化の積は、同じであることが望ましい。

[0037] 以上説明した磁気抵抗効果素子の自由層では、非磁性の反平行結合層はその上下の強磁性層の磁化方向を略反平行に結合する作用を持つ。この結合は反平行結合層の膜厚に非常に敏感であり、反平行結合層の材料をRuとした場合、その最適値はおよそ1nmである。しかし、反平行結合層は熱によって拡散してしまう場合がある。従って、以上に説明した磁気抵抗効果素子において、この拡散を抑える新たな層を反平行結合層の上下に適用してもよい。

。反平行結合層にRuを用いた場合、Ru層の上下にTa層を適用することで、Ruの拡散を抑えることができた。拡散を抑える層の材料としては、全ての非磁性材料が候補になる。拡散防止層の膜厚は0.1 nmから1 nm程度にすることが望ましい。また、図10に示した磁気抵抗効果素子の場合、固定層中の反平行結合層1002にも拡散を抑える層を適用してもよい。

符号の説明

- [0038] 101 固定層
102 自由層
300 磁気メモリ
301 ビット線
302 ソース線
303 ワード線
304 磁気抵抗効果素子
306 トランジスタのドレイン電極
308 トランジスタのソース電極
401 固定層
402 非磁性層
403 第1の強磁性層
404 反平行結合層
405 第2の強磁性層
406 反平行結合層
407 第3の強磁性層
408 反平行結合層
409 第4の強磁性層
415 自由層
700 磁気抵抗効果素子
800 磁気抵抗効果素子
900 磁気抵抗効果素子

9 0 1 反強磁性層

1 0 0 0 磁氣抵抗効果素子

1 0 0 1 強磁性層

1 0 0 2 反平行結合層

請求の範囲

- [請求項1] 磁化方向が固定された固定層と、前記固定層の上に形成された非磁性層と、前記非磁性層の上に形成された磁化方向が可変な自由層と、膜厚に垂直な方向に電流を流すための一対の電極とを有し、スピントランスファートルクによる電流磁化反転を用いて書き込みを行う磁気抵抗効果素子において、
- 前記自由層は、非磁性の反平行結合層を介して積層された3層以上の強磁性層を備え、前記複数の強磁性層の磁化方向は前記固定層の磁化方向と平行あるいは反平行であり、前記反平行結合層を挟んで設けられた2つの強磁性層の磁化方向は互いに反平行であり、磁化方向が一方を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和は、磁化方向がそれと反平行な方向を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和と略等しいことを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記自由層が備える強磁性層の数は偶数であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項3] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記自由層は膜厚が等しく同じ材料からなる4層の強磁性層を備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記3層以上の強磁性層には膜厚の異なる強磁性層が含まれることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記3層以上の強磁性層には材料の異なる強磁性層が含まれることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項6] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記固定層に接して反強磁性層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項7] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記反平行結合層の上下に拡散防止層を備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項8] 請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、前記固定層の上に形成された非磁性層は絶縁層であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項9] 磁化方向が固定された固定層と、前記固定層の上に形成された非磁性層と、前記非磁性層の上に形成された磁化方向が可変な自由層と、膜厚に垂直な方向に電流を流すための一対の電極とを有し、前記自由層は、非磁性の反平行結合層を介して積層された3層以上の強磁性層を備え、前記複数の強磁性層の磁化方向は前記固定層の磁化方向と平行あるいは反平行であり、前記反平行結合層を挟んで設けられた2つの強磁性層の磁化方向は互いに反平行であり、磁化方向が一方を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和は、磁化方向がそれと反平行な方向を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和と略等しく、スピントランスファートルクによる電流磁化反転を用いて書き込みを行う磁気抵抗効果素子と、

前記磁気抵抗効果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

を備えることを特徴とする磁気メモリセル。

[請求項10] 複数の磁気メモリセルと、所望の磁気メモリセルを選択する手段とを備える磁気ランダムアクセスメモリにおいて、

前記磁気メモリセルは、

磁化方向が固定された固定層と、前記固定層の上に形成された非磁性層と、前記非磁性層の上に形成された磁化方向が可変な自由層と、膜厚に垂直な方向に電流を流すための一対の電極とを有し、前記自由層は、非磁性の反平行結合層を介して積層された3層以上の強磁性層を備え、前記複数の強磁性層の磁化方向は前記固定層の磁化方向と平行あるいは反平行であり、前記反平行結合層を挟んで設けられた2つの強磁性層の磁化方向は互いに反平行であり、磁化方向が一方を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和は、磁化方向がそれと反平行な方向を向いた強磁性層の体積と磁化の積の和と略等しく、スピントランス

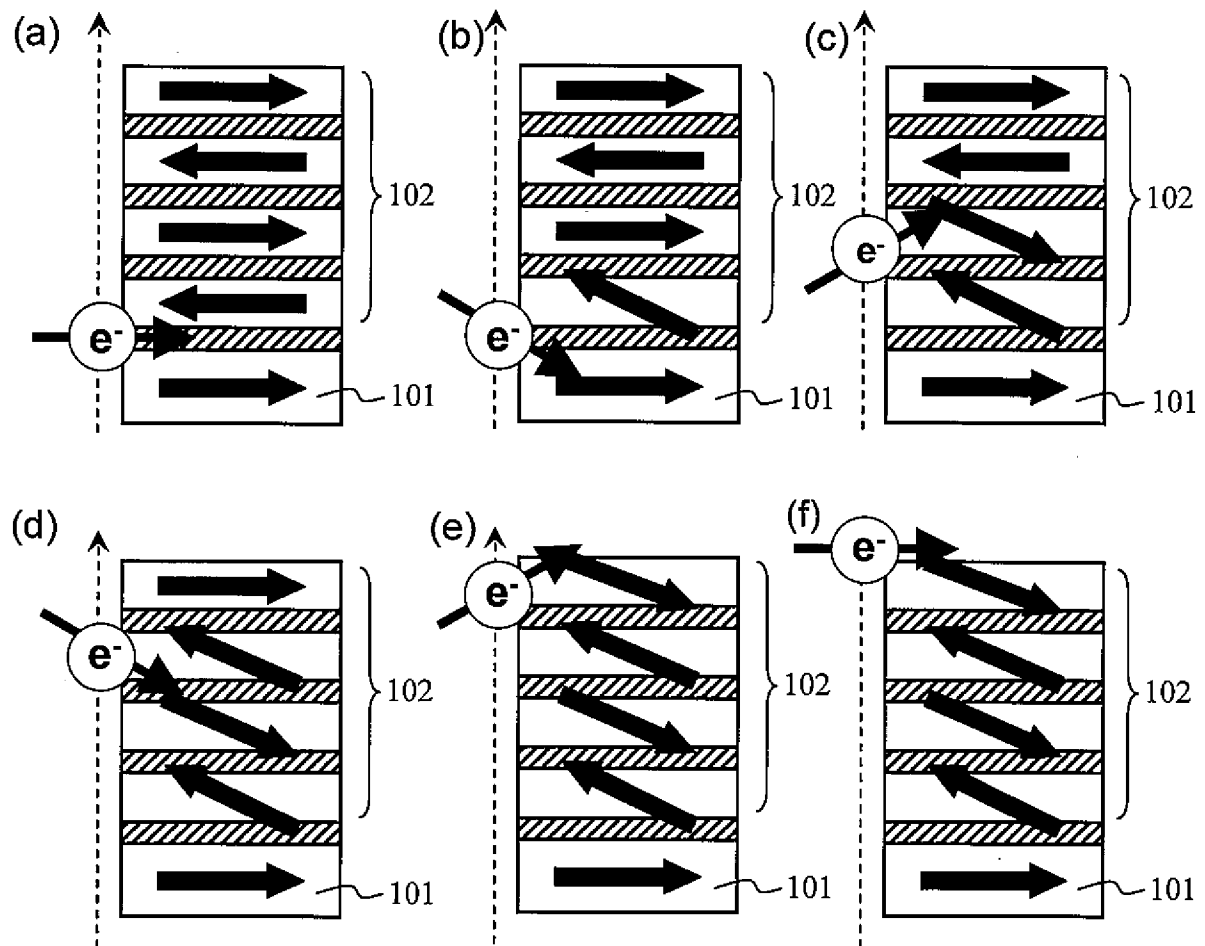
ファートルクによる電流磁化反転を用いて書き込みを行う磁気抵抗効果素子と、

前記磁気抵抗効果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

を備えることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

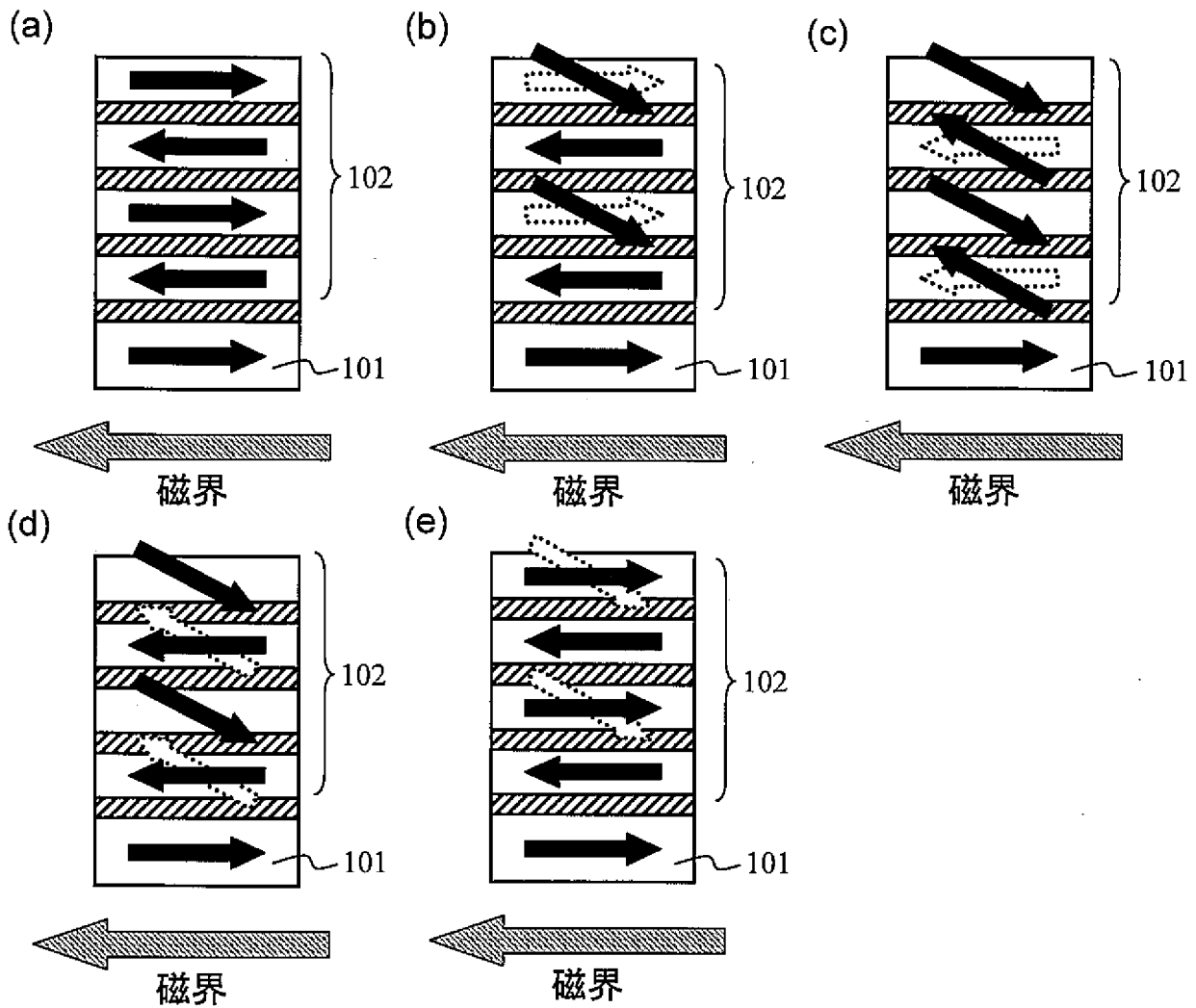
[図1]

図 1



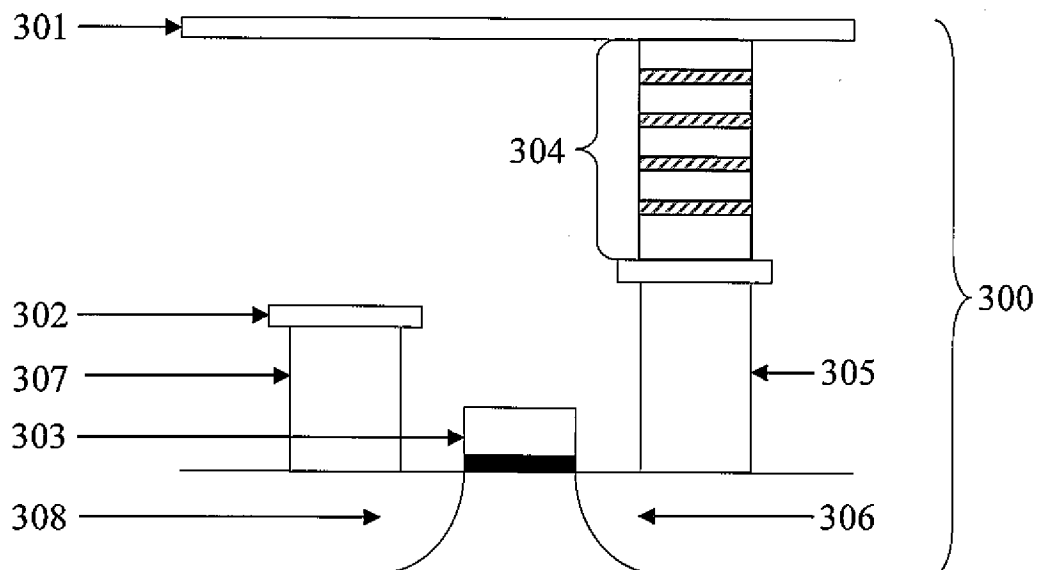
[图2]

图 2



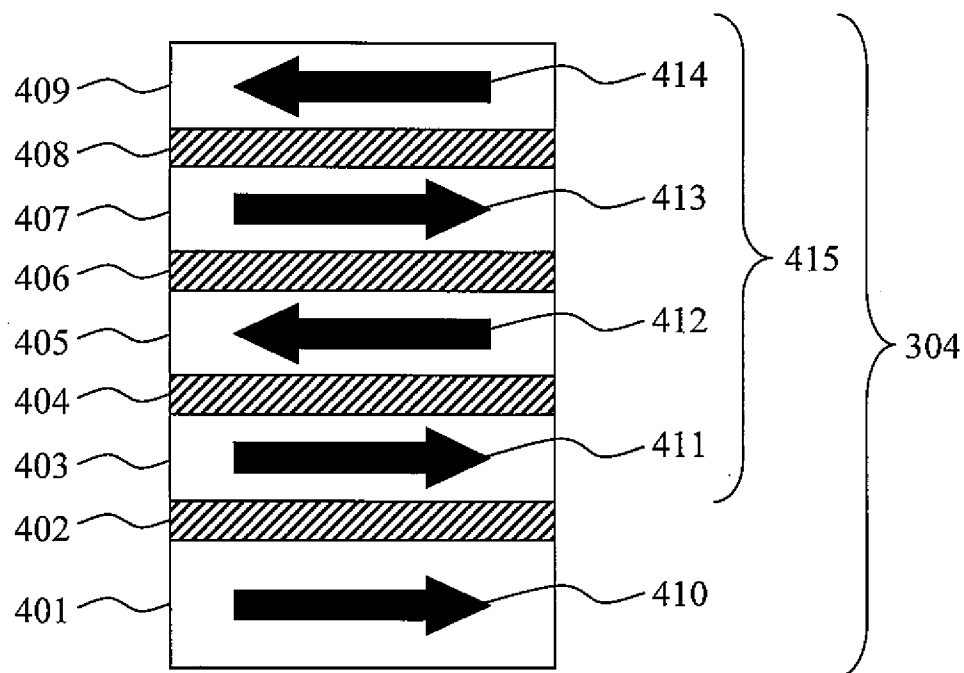
[图3]

图 3



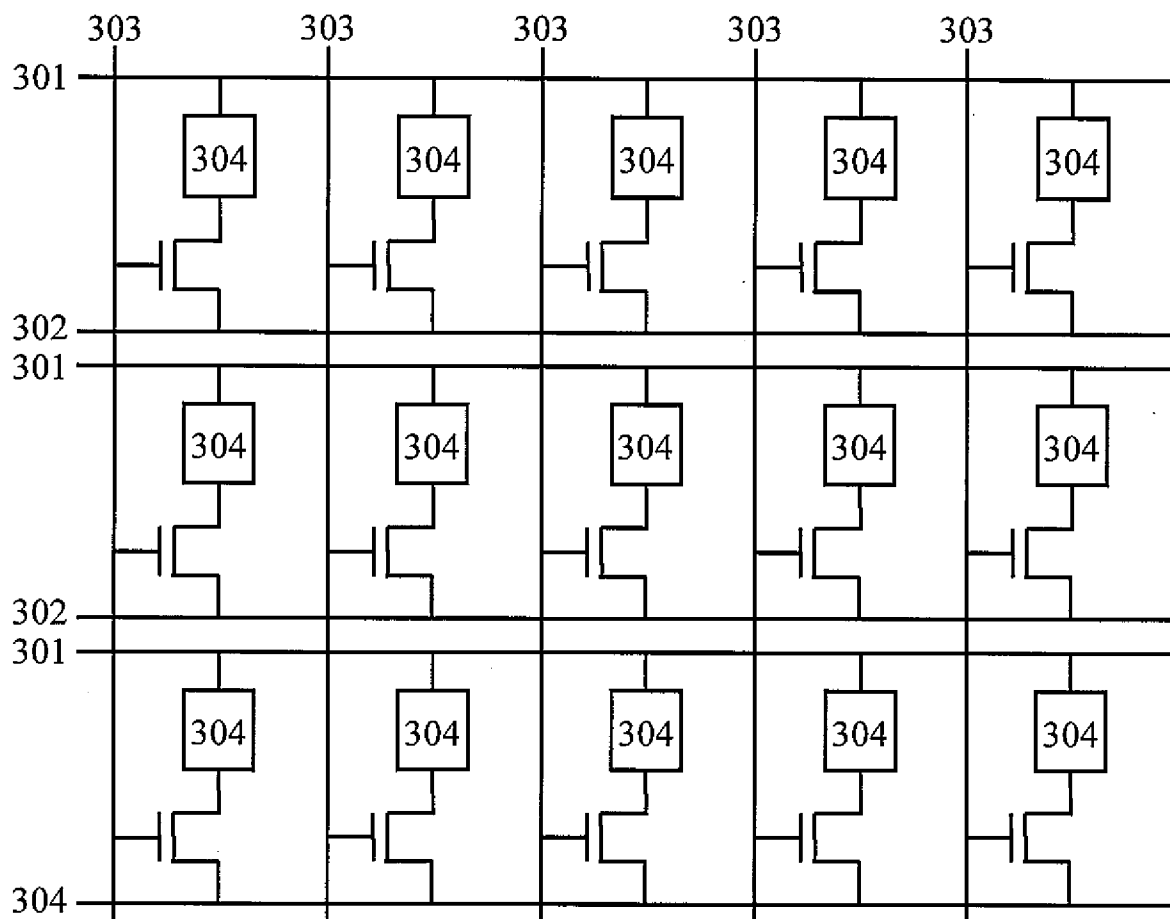
[図4]

図 4



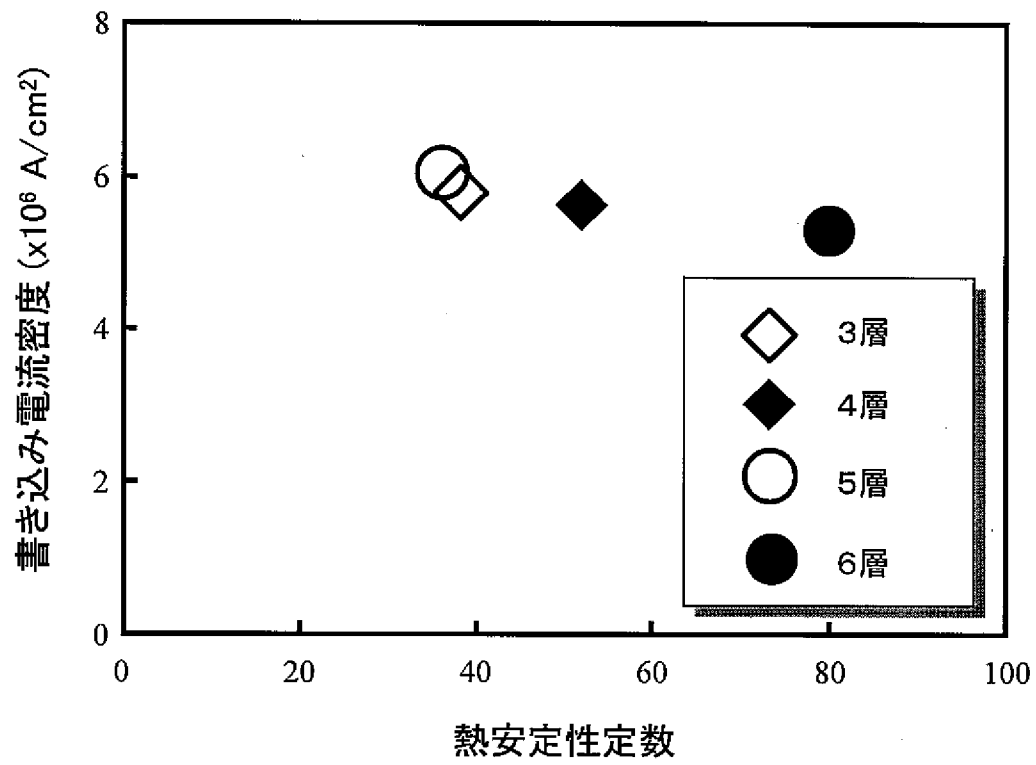
[図5]

図 5



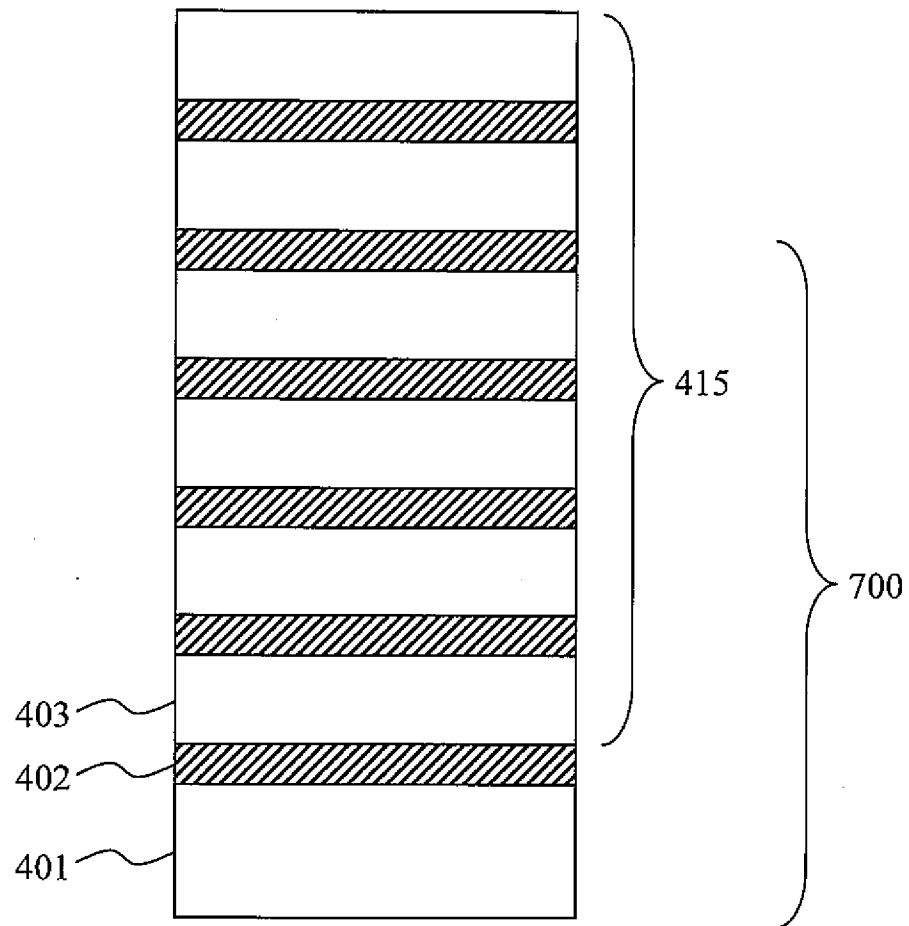
[図6]

図 6



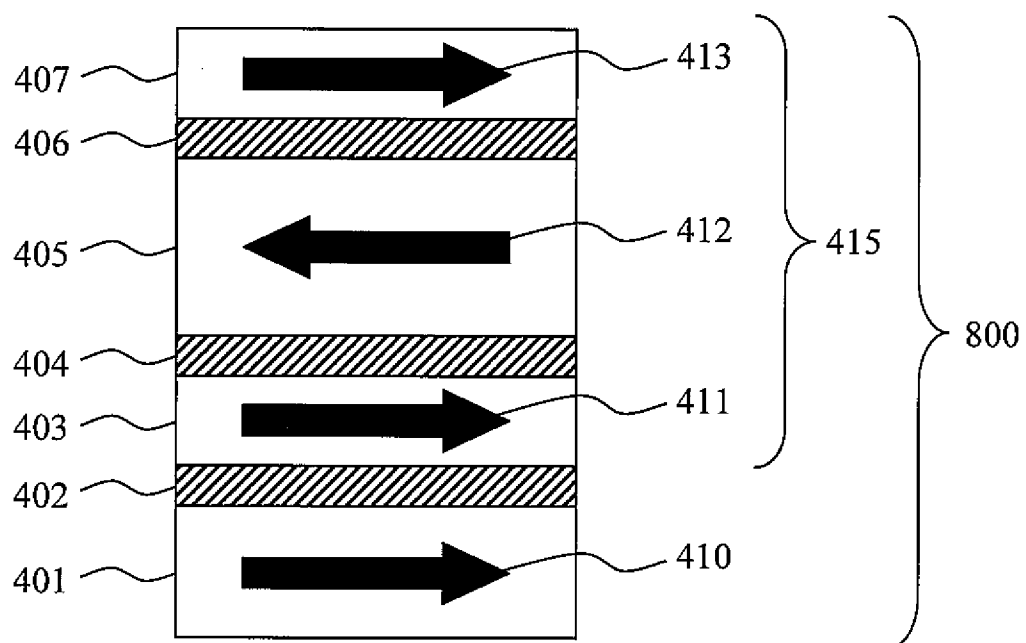
[図7]

図 7



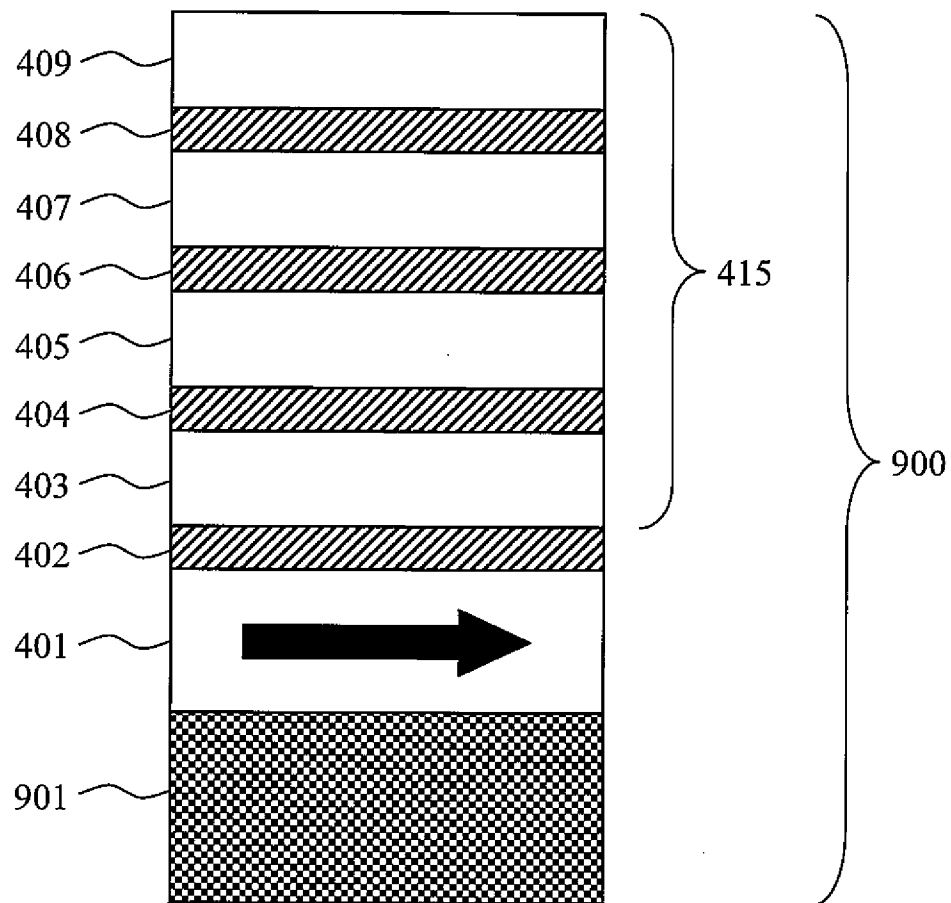
[図8]

図 8



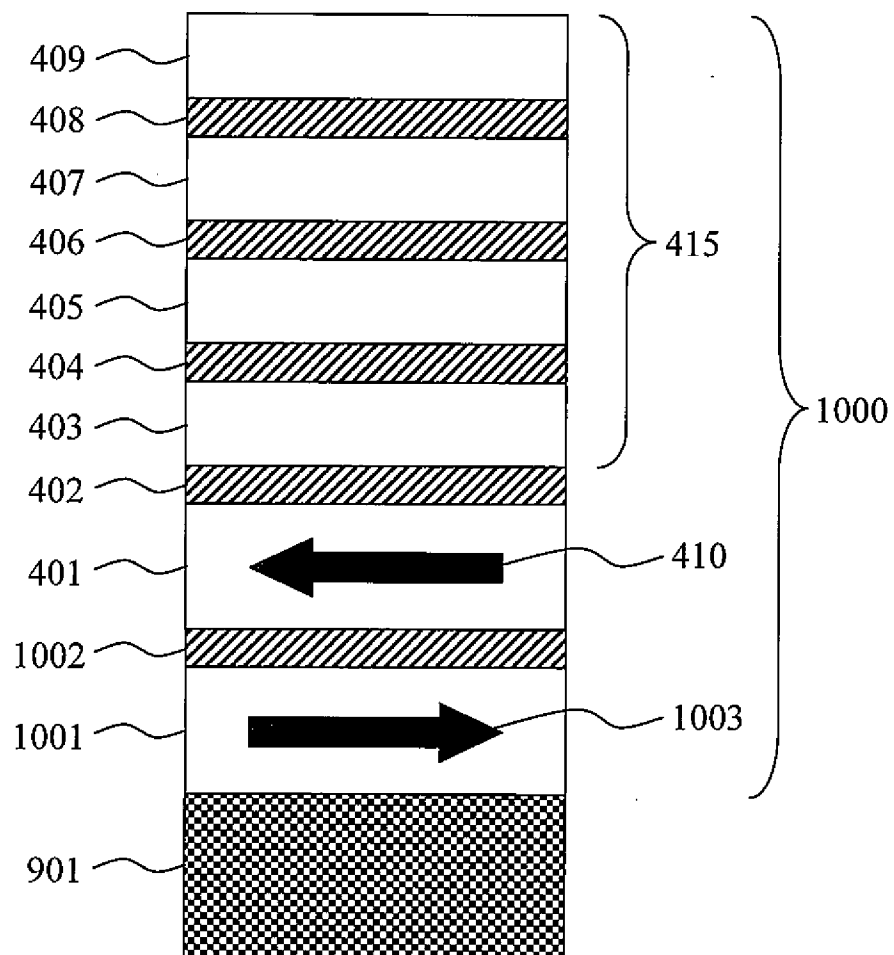
[図9]

図 9



[図10]

図 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/064661

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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

H01L43/08, H01L21/8246, H01L27/105

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2005-294376 A (Toshiba Corp.), 20 October 2005 (20.10.2005), paragraphs [0026] to [0044], [0088] to [0102], [0137] to [0142]; fig. 2 to 7, 28 to 29 & US 2005/0219767 A1 & CN 1677558 A	1-6, 8-10 7
Y	JP 2007-515075 A (Freescale Semiconductor Inc.), 07 June 2007 (07.06.2007), paragraphs [0009], [0014]; fig. 2, 4 & US 2005/0133840 A1 & EP 1697996 A & WO 2005/067472 A2 & KR 10-2007-0001912 A & CN 1894801 A	7

☐ 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
13 November, 2009 (13.11.09)

Date of mailing of the international search report
24 November, 2009 (24.11.09)

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

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 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2005-294376 A（株式会社東芝）2005.10.20, 段落【0026】－【0044】、段落【0088】－【0102】、	1-6, 8-10
Y	段落【0137】－【0142】、図2－7、図28－29 & US 2005/0219767 A1 & CN 1677558 A	7
Y	JP 2007-515075 A（フリースケール セミコンダクター インコー ポレイテッド）2007.06.07、段落【0009】、段落【0014】、 図2、4 & US 2005/0133840 A1 & EP 1697996 A & WO 2005/067472 A2 & KR 10-2007-0001912 A & CN 1894801 A	7

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

1 3 . 1 1 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

2 4 . 1 1 . 2 0 0 9

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100-8915

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）

小川 将之

4M

9634

電話番号 03-3581-1101 内線 3462