

(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 12 月 2 日(02.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/137679 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01) H01L 21/8246 (2006.01)
H01F 10/16 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01F 10/32 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/059066
- (22) 国際出願日: 2010 年 5 月 28 日(28.05.2010)
- (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 2009-128737 2009 年 5 月 28 日(28.05.2009) 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(TOHOKE 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): 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). 島津武仁(SHIMAZU Takehito)

[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). 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). 山本浩之(YAMAMOTO Hiroyuki) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内 Saitama (JP). 山田将貴(YAMADA Masaki) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 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 2 0 号 神谷町 M Tビル 1 9 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.

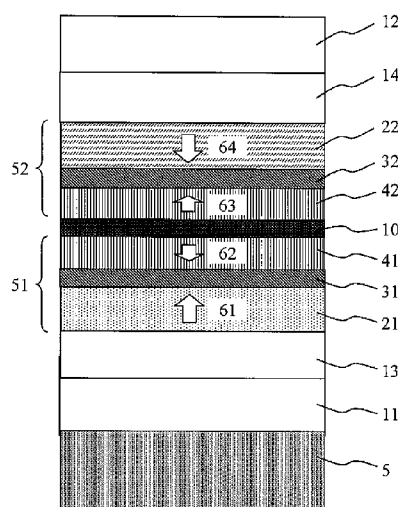
[続葉有]

(54) Title: MAGNETO-RESISTANCE EFFECT ELEMENT AND RANDOM ACCESS MEMORY USING SAME

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子及びそれを用いたランダムアクセスメモリ

[図2]

図 2



(57) Abstract: Disclosed is a magneto-resistance effect element with a high TMR ratio, to which a perpendicular magnetization material is applied. Laminated ferri-structures (51, 52) each composed of a perpendicular magnetization magnetic layer (21, 22) and a high-polarizability magnetic layer (41, 42) are applied as a recording layer and a stern layer which are arranged above and below a barrier layer (10), respectively. Each of non-magnetic layers (31, 32) is inserted between the perpendicular magnetization magnetic layer and the high-polarizability magnetic layer to improve the crystallinity of the perpendicular magnetization magnetic layers, and the (001) crystal orientation of the MgO barrier layer (10) and the bcc (001) crystal orientation of the high-polarizability magnetic layer (41, 42) are conducted.

(57) 要約: 垂直磁化材料を適用し、TMR比の高い磁気抵抗効果素子を提供する。バリア層10の上下に配置する記録層と固定層として、垂直磁化磁性層21、22と高分極率磁性層41、42からなる積層フェリ構成51、52を適用する。垂直磁化磁性層と高分極率磁性層の間に挿入する非磁性層31、32によって、垂直磁化磁性層の結晶性を良好にし、さらにMgOバリア層10を(001)に結晶配向させるとともに高分極率磁性層41、42をbcc(001)で結晶配向させる。



(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 (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, 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：

磁気抵抗効果素子及びそれを用いたランダムアクセスメモリ

技術分野

[0001] 本発明は、垂直磁化材料を用いた磁気抵抗効果素子及びそれを用いたランダムアクセスメモリに関するものである。

背景技術

[0002] 近年、磁性体を用いたメモリとしてMRAM (Magnetic Random Access Memory) が開発されている。MRAMは、トンネル磁気抵抗 (Tunneling Magnetoresistive: TMR) 効果を利用するMTJ (Magnetic Tunneling Junction) を要素素子として用いる。MTJ素子は2枚の強磁性体層で非磁性体層 (絶縁層) を挟んだ構造を有し、片側の強磁性体層 (記録層) の磁化方向を外部磁場によって反転できる。このように、MTJ素子では磁性体層の磁化方向を制御することによって、情報を記録する。電源を切っても磁性体の磁化方向は変化しないため、記録した情報が保持される不揮発動作を実現できる。MTJ素子の磁化方向を変化させる (情報を書き換える) には外部から磁場を印加する方式の他、近年、MTJ素子に直接直流電流を流して磁化を反転させる、スピントランスファートルク磁化反転 (スピン注入磁化反転) 方式が見出されている。例えば、特許文献1には面内磁化材料を記録層として用い、スピン注入磁化反転を利用するMTJ素子及びそれを集積したメモリ: SDRAM (Spin-transfer torque Magnetic Random Access Memory) が開示されている。

[0003] SDRAMの集積度向上にはMTJ素子の微細化が必要となるが、その際、MTJ素子における磁気情報の熱的安定性が課題となる。MTJ素子の記録層の磁化方向を反転させるために必要な磁気エネルギーに対し、環境温度による熱エネルギーが高くなる場合、外部磁場もしくは電流を印加しなくとも磁化の反転が起こる。サイズの縮小とともにMTJ素子の磁気エネルギー

は減少するため、素子の微細化に伴いこの熱的安定性は低下する。微細な領域でも熱的安定性を維持し信頼性の高い動作を実現するためには、MTJ素子の記録層材料の結晶磁気異方性を高めるのが有効である。これまでに、面内磁化材料と比べ結晶磁気異方性の高い垂直磁化材料を用いたMTJ素子が開示されている（特許文献2）。さらに垂直磁化材料を適用したMTJ素子では、記録層内にかかる反磁界の影響が面内磁化MTJ素子とは異なり、磁化の反転に要する電流密度（書き込み電流密度）を低減する方向にはたらく。そのため、面内磁化MTJ素子と比べ書き込み電流密度を低減でき消費電力を抑制できる利点がある。

[0004] 垂直磁化MTJ素子において抵抗変化率（TMR比）を向上させる手段として、絶縁層（バリア層）に酸化マグネシウム（MgO）を用い、その両側に電子スピンの分極率が高い材料（CoFeBなど）を配置する構造が開示されている（特許文献3）。ここで垂直磁化の強磁性層は高分極率磁性層に直に接して配置される。さらに、高分極率磁性層に隣接する垂直磁化層として、非磁性体層を2枚の強磁性体層で挟んだ構造（積層フェリ構造）を用いる素子も提案されている（特許文献3）。図1に、特許文献3に開示されている垂直磁化MTJ素子の積層薄膜の構成を示す。バリア層213の下側に垂直磁化を示す磁性層205、206及び非磁性層209からなる積層フェリ構成214を形成し、上側に垂直磁化を示す磁性層207、208及び非磁性層210からなる積層フェリ構成215を形成する。また、バリア層213の両側界面には高分極率磁性層211、212が配置される。なお図1中の矢印216-1、216-2、217-1、217-2は磁性層の磁化の方向を表しており、図に示すとおり積層フェリ構造では、非磁性層209、210を介して2枚の磁性層（205と206、207と208）の磁化が反平行方向に結合される。そのため、垂直磁化層から発生する漏れ磁場を抑制できる効果がある。なお、垂直磁化MTJ素子の以前から面内磁化MTJ素子で積層フェリを適用した構成が検討されており、例えば特許文献4に示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2002-305337号公報
特許文献2：特開2003-142364号公報
特許文献3：特開2007-142364号公報
特許文献4：特開2008-198792号公報

非特許文献

- [0006] 非特許文献1：Appl. Phys. Lett., Vol. 93, 082508 (2008)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 実際には上記のような垂直磁化MTJ素子を作製し、高いTMR比を得るためには強磁性体層及びバリア層の結晶配向制御が重要である。面内磁化MTJ素子に関するこれまでの検討より、NaCl構造をもつMgO(001)バリア層を用い、さらにその両側にbcc(001)結晶構造の強磁性層を配置する構造で極めて高いTMR比が得られることが明らかになっている。高TMR素子に用いる強磁性層の材料としては、bcc構造を有するFeやCoFeBが適している。ただし、Feを用いる場合、bcc(001)配向を得るためには下地層の結晶配向制御が必須であり、分子線エピタキシー装置などを用いたエピタキシャル成長が必要となる。一方、CoFeBの場合は量産性に優れたスパッタ装置での薄膜作製が可能である。室温でスパッタ成膜したCoFeBは下地の結晶構造に影響されずアモルファス構造となる。アモルファスCoFeB層の上に形成するMgOは(001)に配向する。CoFeB/MgO/CoFeB積層構造を形成した後、アニールを行うと、MgO(001)の界面からCoFeB層の結晶化が進行することで、CoFeB層をbcc(001)配向させることができる。このようにCoFeBを用いると、アモルファス状態での成膜とアニールによる結晶化メカニズムにより、量産に適したスパッタ装置でもMgO(001)バリア層

とbcc（001）構造の強磁性層を備えた、高TMR比のMTJ素子を作製することが可能となる。

[0008] 面内磁化MTJ素子で有効なCoFeBとMgOの組み合わせを、垂直磁化MTJ素子に適用する場合、CoFeBに接する材料を考慮する必要がある。面内磁化MTJ素子の検討結果より、CoFeB/MgO/CoFeB積層構造を形成しても、CoFeBの外側に接する材料によってはMgO界面からCoFeB層の結晶化が進行せず、CoFeB層のbcc（001）構造が得られない場合がある。以上のことは垂直磁化MTJ素子においてもあてはまり、特許文献3のような構造で高分極率材料にCoFeBを用いる場合、垂直磁化層を直接CoFeBに接して配置すると、垂直磁化層の材料によってはCoFeBのbcc（001）構造が得られない懸念がある。

[0009] 本発明の目的は、従来技術に比べて熱安定性に優れ、書き込み電流が低く、かつ高いTMR比を示す垂直磁化MTJ素子を提供するものである。より詳細には、本発明は、高TMR比の実現に重要なバリア層とそれに隣接する高分極率の強磁性体層の結晶配向性を制御しつつ、同時に、結晶磁気異方性の高い垂直磁化材料を適用したMTJ素子を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明では、MTJ素子を作製するための積層薄膜構成として、バリア層の両側に高分極率の強磁性層を配置する。さらに、好適には、非磁性層と垂直磁化を示す磁性層を用いて、高分極率磁性層/非磁性層/垂直磁化磁性層からなる積層フェリ構造をバリア層の上下に形成する。一方の積層フェリ構造が固定層として作用し、他方の積層フェリ構造が記録層として作用する。

発明の効果

[0011] 本発明における薄膜構成を適用することで、高いTMR比を示し、かつ熱安定性に優れた垂直磁化MTJ素子が作製可能となる。さらには、スパッタ法など量産に適した方法での薄膜形成が容易となるとともに、垂直磁化材料の選択の幅も拡大する。

図面の簡単な説明

[0012] [図1] 公知のMTJ素子の断面模式図である。

[図2] 本発明によるMTJ素子の一例の断面模式図である。

[図3] 本発明によるMTJ素子の一例の磁化反転動作を模式的に示した図である。

[図4] 本発明によるMTJ素子の他の例の磁化反転動作を模式的に示した図である。

[図5] 本発明によるMTJ素子の一例の断面模式図である。

[図6] 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。

[図7] 本発明によるランダムアクセスメモリの構成例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0013] 本発明の実施形態を、図面を用いて詳細に説明する。なお、本発明の実施例で述べるMTJ素子では、スピン注入磁化反転の機構を利用して記録層の磁化を反転させる。すなわち、素子中に電流を流し、スピン偏極した電流のスピンが磁性体記録層の磁気モーメントにトルクを与えることにより、記録層の磁化を反転させる。

[0014] <実施例 1>

図2に、実施例1におけるMTJ素子の断面模式図を示す。バリア層10の下側に、垂直磁化を示す第1の磁性層21と第1の非磁性層31、及び電子スピンの分極率が高い第1の高分極率磁性層41による積層フェリ構造51を形成する。同様にバリア層10の上側に、垂直磁化を示す第2の磁性層22と第2の非磁性層32、及び第2の高分極率磁性層42による積層フェリ構造52を形成する。なお、図2に示すように、積層フェリ構造51において、第1の磁性層21と第1の高分極率磁性層41は第1の非磁性層31を介して反強磁性結合しており、それぞれの磁化61、62の方向は反平行になる。積層フェリ構造52についても同様である。

[0015] 特許文献3の素子構成では、図1に示したように、垂直磁化の磁性層205(207)、206(208)同士が非磁性層209(210)を介して積層フェリ構造を形成し、高分極率磁性層211(212)と磁性層206

(207)は直接積層される。それに対し、本発明では、高分極率磁性層41(42)と磁性層21(22)が、非磁性層31(32)と積層フェリを構成する点で、特許文献3の発明とは構造が異なる。

[0016] 各層の材料としては、バリア層10にMgO(膜厚:1nm)、第1の磁性層21に $m\text{-D}_{0.19}$ 型の $\text{Co}_{75}\text{Pt}_{25}$ 規則合金(膜厚:10nm)、第2の磁性層22に $m\text{-D}_{0.19}$ 型の $\text{Co}_{75}\text{Pt}_{25}$ 規則合金(膜厚:3nm)、第1の非磁性層31及び第2の非磁性層32にRu(膜厚:0.8nm)、第1の高分極率磁性層41及び第2の高分極率磁性層42にはCoFeB(膜厚:1nm)を適用した。また、下部電極11としては、Ta層(膜厚:5nm)、Pt層(膜厚:10nm)の順で積層した膜を用いた。下地層13にはRu(膜厚:20nm)を用い、キャップ層14にはRu(膜厚:5nm)を用いた。各層はArガスを用いたRFスパッタリング法を用いてSi基板5上に形成した。各層の成膜条件はいずれも、圧力1mTorr、Arガス流量30sccm、RFパワー300Wを用いた。

[0017] 積層膜を形成後、電子ビーム(EB)リソグラフィとイオンビームエッチングを用いて、上面の面積が $50 \times 50 \text{ nm}$ のピラー形状に加工した。その後、Cr(膜厚:5nm)/Au(膜厚:100nm)の積層構造の上部電極12を形成した。以上の工程により作製した素子を 300°C でアニール処理した。なお、図示はしていないが、上部電極層12と下部電極層11にはそれぞれ、素子に電流を流すための配線が接続される。

[0018] 積層膜の結晶構造について以下に説明する。第1の非磁性層31であるRu上に第1の高分極率磁性層41であるCoFeBはアモルファス状態で成長する。バリア層10のMgOはアモルファスのCoFeB上に(001)で配向成長する。さらにその上の第2の高分極率磁性層42のCoFeBもアモルファスで成長する。キャップ層14まで形成した後、この積層膜を 300°C でアニール処理すると、バリア層10のMgO(001)を種として、両側に配した第1の高分極率磁性層41と第2の高分極率磁性層42のCoFeBがアモルファス状態からbcc(001)に結晶化する。MTJ素

子におけるトンネル抵抗比（TMR比）は、バリア層とその界面の強磁性体層の結晶構造に強く依存し、MgO（001）バリア層とbcc（001）に配向した強磁性体層の組み合わせにより、高いTMR比が得られる（非特許文献1）。

[0019] また、アニールによってCoFeBを結晶化させる際、その配向性はMgOと反対側にある層（本実施例では非磁性層31、32）の結晶構造にも影響を受ける。CoFeBに接している材料によっては、CoFeBの結晶化がbcc（001）配向で進行しない場合もある。本実施例で、高分極率磁性層41、42のCoFeBに接している非磁性層31、32のRuは、面内磁化MTJ素子においてCoFeB/Ru/CoFeBの積層フェリ構造に用いられる材料であり、CoFeBのbcc（001）配向成長を妨げないことが知られている（特許文献4）。また、Ruは磁性層21、22のCo₇₅Pt₂₅規則合金の下地層、キャップ層としても良好な材料であり、下地にRuを配置することで高い磁気異方性を有するCo₇₅Pt₂₅規則合金（磁性層21、22）を形成できる。

[0020] 以上のように、本実施例では、MgOバリア層の上下に、垂直磁化磁性層/Ru/高分極率磁性層、高分極率磁性層/Ru/垂直磁化磁性層からなる積層フェリ構成を適用することで、高異方性の垂直磁化磁性層を形成し、同時に高TMR比が得られるbcc-CoFeB（001）/MgO（001）/bcc-（001）CoFeB構造を形成できる。

[0021] 素子の動作について図3を用いて説明する。簡単のために、素子の抵抗変化に関係するバリア層10、第1の磁性層21、第2の磁性層22、第1の高分極率磁性層41、第2の高分極率磁性層42、第1の非磁性層31、第2の非磁性層32のみを図示する。情報書き換えのための電流を流すと、第1の磁性層21に比べ膜厚の薄い第2の磁性層22の方が先に磁化反転するため、バリア層10の上側にある積層フェリ構成（第2の高分極率磁性層42/第2の非磁性層32/第2の磁性層22）が記録層となり、下側にある積層フェリ構成（第1の磁性層21/第1の非磁性層31/第1の高分極率

磁性層 4 1) が固定層となる。

[0022] 図 3 (A) は素子に電流を流していない初期状態を示す。第 1 の磁性層 2 1 の磁化 6 1、及び第 2 の磁性層 2 2 の磁化 6 4 はともに上側を向いている。第 1 の高分極率磁性層 4 1、及び第 2 の高分極率磁性層 4 2 はそれぞれ、第 1 の非磁性層 3 1、及び第 2 の非磁性層 3 2 を介して、第 1 の磁性層 2 1、第 2 の磁性層 2 2 と反強磁性結合している。高分極率磁性層 4 1、4 2 の材料である CoFeB は本来面内磁化材料であるが、垂直磁化の磁性層 2 1、2 2 と磁気結合することで、磁化が垂直方向をむく。垂直磁化を示す第 1 の磁性層 2 1 と反強磁性結合するため、第 1 の高分極率磁性層 4 1 の磁化 6 2 は下側を向き、同様に、第 2 の磁性層 2 2 と反強磁性結合する第 2 の高分極率磁性層 4 2 の磁化 6 3 も下側を向く。

[0023] 図 3 (B) は図 3 (A) の状態から、素子に電流を流した時の磁化の方向を示す。素子の下部から上部へ向けて電流 7 0 を流すと、スピン偏極した電子 8 0 が第 2 の高分極率磁性層 4 2 を通り、第 1 の高分極率磁性層 4 1 に流れる。その際、第 2 の高分極率磁性層 4 2 のスピンと同方向のスピンを持った電子のみが、第 1 の高分極率磁性層 4 1 に流れ込み、逆方向のスピンを持った電子はバリア層 1 0 の表面で反射される。反射された電子は記録層の第 2 の高分極率磁性層 4 2 の磁化に作用し、スピン注入磁化反転により、第 2 の高分極率磁性層 4 2 の磁化が反転する。同時に、積層フェリ構成で反強磁性結合となっている第 2 の磁性層 2 2 の磁化も反転する。このとき固定層の第 1 の高分極率磁性層 4 1 の磁化 6 2 と、記録層にある第 2 の高分極率磁性層 4 2 の磁化 6 3 が反平行配列となり M T J 素子は低抵抗状態から高抵抗状態にスイッチする。

[0024] 一方、図 3 (B) の状態から、逆に素子の上部から下部へ電流を流すと図 3 (C) の状態となる。素子の上部から下部へ向けて電流 7 0 を流すと、スピン偏極した電子 8 0 が第 1 の高分極率磁性層 4 1 から第 2 の高分極率磁性層 4 2 に流れこみ、スピン注入磁化反転により、第 2 の高分極率磁性層 4 2 の磁化 6 3 が反転する。同時に、積層フェリ構成で反強磁性結合となってい

る第2の磁性層22の磁化64も反転する。このとき固定層にある第1の高分極率磁性層41の磁化62と、記録層の第2の高分極率磁性層42の磁化63が平行配列となりMTJ素子の抵抗は高抵抗状態から低抵抗状態にスイッチする。

[0025] 実施例1の構造の素子を作製し評価した結果、100%以上のTMR比が得られた。また、熱安定性指標である $E/k_B T$ （ E ：記録層の磁気エネルギー、 k_B ：ボルツマン定数、 T ：使用温度）としては、面内磁化のMTJ素子に比べて数倍高い値が得られた。さらに本発明では積層フェリ構造を採用しているため、熱安定性については図1に示した構成の素子と同様の効果があり、記録層が単層の垂直磁化MTJ素子と比べて特性が向上した。本発明では、高分極率磁性層41、42と、垂直磁化の磁性層21、22の間にRuを挿入することで、アニールによるCoFeBの結晶化をMgO界面から進行させ、bcc-CoFeB(001)/MgO(001)/bcc-CoFeB(001)構造を容易に作製できる。すなわち、CoFeBのbcc(001)結晶化において、垂直磁化の磁性層21、22からの影響を抑制するため、特許文献3に示されているようなCoFeBと垂直磁化材料が直接接触する構成と比べ、bcc(001)構造の形成が容易であると同時に、垂直磁化の磁性層の材料選択性が広がる利点がある。

[0026] 実施例1では、第1の磁性層21、第2の磁性層22の垂直磁化材料として、 $m-D_{0.19}$ 型の $Co_{75}Pt_{25}$ 規則合金を適用したが、それ以外の垂直磁化材料を適用しても実施例1と同様の効果が得られる。具体的な材料として、例えば、 $Co_{50}Pt_{50}$ 、 $Fe_{50}Pt_{50}$ 等の L_{10} 型規則合金、もしくは、 $CoCrPt-SiO_2$ 、 $FePt-SiO_2$ など粒状の磁性体が非磁性体の母相中に分散したグラニューラ構造の材料、もしくは、Fe、Co、Niのいずれかもしくは一つ以上を含む合金と、Ru、Pt、Rh、Pd、Crなどの非磁性金属を交互に積層した積層膜、もしくは、 $TbFeCo$ 、 $GdFeCo$ など、Gd、Dy、Tb等の希土類金属に遷移金属を含んだアモルファス合金を用いてもよい。また、第1の磁性層21と第2の磁性層22に、異なる材料の

組み合わせを用いてもよい。

[0027] また実施例 1 では、第 1 の高分極率磁性層 4 1、第 2 の高分極率磁性層 4 2 の磁性材料として、C o F e B を用いたが、それ以外にも、b c c 結晶構造をとる C o₅₀ F e₅₀、F e などの材料を用いても良い。これらの材料は、特に第 2 の高分極率磁性層 4 2 として用いることが望ましい。例えば、第 1 の高分極率磁性層 4 1 としてアモルファスの C o F e B を成膜し、その上に M g O バリア層 1 0 を (0 0 1) に配向成長させる。その上に F e を堆積すると M g O の結晶構造に従って F e の b c c (0 0 1) 構造が成長し、アニール処理によって、b c c - C o F e B (0 0 1) / M g O (0 0 1) / b c c - F e (0 0 1) を作製できる。また、キャップ層としては、アニール処理による磁性層との反応や拡散の観点から、実施例 1 で用いた R u もしくは T a が望ましい。ただし、それ以外の材料として、P t, P d, C r, T i, W などの金属を用いてもよい。また、積層フェリ構造に使用する非磁性層 3 1, 3 2 の材料としては実施例 1 で用いた R u の他に、I r, R h, R e, O s などの金属を用いてもよい。

[0028] また、実施例 1 では第 1 の高分極率磁性層 4 1 (C o F e B) 及び第 2 の高分極率磁性層 4 2 (C o F e B) 及びバリア層 1 0 (M g O) の結晶化のため、素子を作製後に 3 0 0 ° C のアニールを行ったが、積層膜を形成する途中で真空チャンバー内でのアニールを行っても良い。例えば、基板 5 上に下部電極 1 1 から第 2 の高分極率磁性層 4 2 までを積層した段階で、3 0 0 ° C のアニールを行うと、バリア層の M g O (0 0 1) 構造を種として第 1 の高分極率磁性層 4 1 (C o F e B) 及び第 2 の高分極率磁性層 4 2 (C o F e B) が b c c (0 0 1) 構造に結晶化する。その後、第 2 の非磁性層 3 2 から上部電極 1 2 までを積層して積層膜を形成し、加工することで高い T M R 比を示す素子が作製できる。

[0029] <実施例 2>

実施例 2 は、バリア層上側の積層薄膜を強磁性結合 (積層フェロ) させた垂直磁化 M T J 素子を提案するものである。素子の構造・各層の材料と膜厚

は、第2の非磁性層32の厚さを除き、図2に示した実施例1と同じである。実施例2では、バリア層10上側の積層フェロ構成52にある第2の非磁性層32の膜厚が実施例1と異なり、0.4 nmとなる。積層構成における2つの磁性層の磁気結合状態は、間に挿入する非磁性層の膜厚に依存する。実施例2では、第2の非磁性層32を介して第2の磁性層22と第2の高分極率磁性層42が強磁性結合する。なお、素子の作製方法も実施例1と同様である。

[0030] 素子の動作について図4を用いて説明する。簡単のために、素子の抵抗変化に関係するバリア層10、第1の磁性層21、第2の磁性層22、第1の高分極率磁性層41、第2の高分極率磁性層42、第1の非磁性層31、第2の非磁性層32のみを図示する。情報書き換えのための電流を流すと、第1の磁性層21に比べ膜厚の薄い第2の磁性層22の方が先に磁化反転するため、バリア層10の上側にある積層フェロ構成（第2の高分極率磁性層42／第2の非磁性層32／第2の磁性層22）が記録層となり、下側にある積層フェリ構成（第1の磁性層21／第1の非磁性層31／第1の高分極率磁性層41）が固定層となる。

[0031] 図4（A）は素子に電流を流していない初期状態を示す。固定層にある第1の高分極率磁性層41は、第1の非磁性層31を介して第1の磁性層21と反強磁性結合し、第1の高分極率磁性層41の磁化62と第1の磁性層21の磁化61は反平行となる。そのため、第1の磁性層21の磁化61は上側を向き、第1の高分極率磁性層41の磁化62は下側を向いている。一方、記録層にある第2の高分極率層42は、第2の非磁性層32を介して第2の磁性層22と強磁性結合している。そのため、第2の高分極率磁性層42の磁化63と第2の磁性層22の磁化64は平行となる。図4（A）に示す状態では、第1の高分極率磁性層41の磁化62、第2の高分極率磁性層42の磁化63は共に下側を向いており、バリア層10両側の磁化が平行になっているため素子は低抵抗状態となっている。

[0032] 図4（B）は図4（A）の状態から、素子に電極を流した時の磁化の方向

を示す。素子の下部から上部へ向けて電流 70 を流すと、スピン偏極した電子 80 が第 2 の高分極率磁性層 42 を通り、第 1 の高分極率磁性層 41 に流れる。その際、第 2 の高分極率磁性層 42 のスピンと同方向のスピンを持った電子のみが、第 1 の高分極率磁性層 41 に流れ込み、逆方向のスピンを持った電子はバリア層 10 の表面で反射される。反射された電子は記録層の第 2 の高分極率磁性層 42 の磁化 63 に作用し、スピン注入磁化反転により、第 2 の高分極率磁性層 42 の磁化 63 が反転する。同時に、積層フェロ構成により強磁性結合となっている第 2 の磁性層 22 の磁化 64 も一緒に反転する。このとき固定層にある第 1 の高分極率磁性層 41 の磁化 62 と、記録層の第 2 の高分極率磁性層 42 の磁化 63 が反平行配列となり M T J 素子の抵抗は低抵抗状態から高抵抗状態にスイッチする。

[0033] 図 4 (C) は図 4 (B) の状態から、素子に電極を流した時の磁化の方向を示す。図 4 (B) の状態から、素子の上部から下部へ向けて電流 70 を流すと、スピン偏極した電子 80 が第 1 の高分極率磁性層 41 から第 2 の高分極率磁性層 42 に流れこみ、スピン注入磁化反転により、第 2 の高分極率磁性層 42 の磁化 63 が反転する。同時に、積層フェロ構成で強磁性結合となっている第 2 の磁性層 22 の磁化 64 も一緒に反転する。このとき固定層の第 1 の高分極率磁性層 41 の磁化 62 と、記録層にある第 2 の高分極率磁性層 42 の磁化 63 が平行配列となり M T J 素子は高抵抗状態から低抵抗状態にスイッチする。

[0034] 実施例 2 の構造の素子を作製し評価した結果、100%以上の TMR 比が得られた。また、熱安定性指標である $E/k_B T$ (E : 記録層の磁気エネルギー、 k_B : ボルツマン定数、 T : 使用温度) としては、面内磁化の M T J 素子に比べて数倍高い値が得られた。さらに本発明では積層フェロ構造を採用しているため、熱安定性については図 1 に示した構成の素子と同様の効果があり、記録層が単層の垂直磁化 M T J 素子と比べて特性が向上した。本発明では、高分極率磁性層 41, 42 と、垂直磁化の磁性層 21, 22 の間に Ru を挿入することで、アニールによる CoFeB の結晶化を MgO 界面から進

行させ、 $bcc-CoFeB(001)/MgO(001)/bcc-CoFeB(001)$ 構造を容易に作製できる。すなわち、 $CoFeB$ の $bcc(001)$ 結晶化において、垂直磁化の磁性層21, 22からの影響を抑制するので、特許文献3に示されているような $CoFeB$ と垂直磁化材料が直接接触する構成と比べ、 $bcc(001)$ 構造の形成が容易であると同時に、垂直磁化の磁性層の材料選択性が広がる利点がある。

[0035] 実施例2では、第1の磁性層21、第2の磁性層22の垂直磁化材料として、 $m-D_{019}$ 型の $Co_{75}Pt_{25}$ 規則合金を適用したが、それ以外の垂直磁化材料を適用しても実施例2と同様の効果が得られる。具体的な材料として、例えば、 $Co_{50}Pt_{50}$, $Fe_{50}Pt_{50}$ 等の L_{10} 型の規則合金、もしくは、 $CoCrPt-SiO_2$, $FePt-SiO_2$ など粒状の磁性体が非磁性体の母相中に分散したグラニューラ構造の材料、もしくは、 Fe , Co , Ni のいずれかもしくは一つ以上を含む合金と、 Ru , Pt , Rh , Pd , Cr などの非磁性金属を交互に積層した積層膜、もしくは、 $TbFeCo$, $GdFeCo$ など、 Gd , Dy , Tb 等の希土類金属に遷移金属を含んだアモルファス合金を用いてもよい。また、第1の磁性層21と第2の磁性層22に、異なる材料の組み合わせを用いてもよい。

[0036] また実施例2では、第1の高分極率磁性層41、第2の高分極率磁性層42の磁性材料として、 $CoFeB$ を用いたが、それ以外にも、 bcc 結晶構造をとる $Co_{50}Fe_{50}$, Fe などの材料を用いても良い。これらの材料は、特に第2の高分極率磁性層42として用いることが望ましい。例えば、第1の高分極率磁性層41としてアモルファスの $CoFeB$ を成膜し、その上に MgO バリア層10を (001) に配向成長させる。その上に Fe を堆積すると MgO の結晶構造に従って Fe の $bcc(001)$ 構造が成長し、アニール処理によって、 $bcc-CoFeB(001)/MgO(001)/bcc-Fe(001)$ を作製できる。また、キャップ層としては、アニール処理による磁性層との反応や拡散の観点から、実施例2で用いた Ru もしくは Ta が望ましい。ただし、それ以外の材料として、 Pt , Pd , Cr , Ti

、Wなどの金属を用いてもよい。また、積層フェリ及び積層フェロ構造に使用する非磁性層31、32の材料としては実施例2で用いたRuの他に、Ir、Rh、Re、Osなどの金属を用いてもよい。

[0037] <実施例3>

実施例3は、バリア層の下側に記録層、上側に固定層を配置する垂直磁化のMTJ素子を提案するものである。素子の基本構成及び各層の材料は図2に示した実施例1と同様である。ただし実施例3では、第1の磁性層21と第2の磁性層22の膜厚が実施例1と異なり、図2に示した第1の磁性層21を3nm、第2の磁性層22を10nmとした。また、素子の作製方法も実施例1と同様である。本発明のMTJ素子では、第1の磁性層21と、第2の磁性層22の膜厚を制御することで、固定層と自由層を変更できる。実施例3では、バリア層10の下側の磁性層21の方が上側の磁性層22よりも膜厚が薄いため、素子に電流を流した場合、下側の磁性層21及び第1の高分極率磁性層41の磁化が先に反転する。つまり、バリア層10の下側が記録層、上側が固定層としてはたらく。この構成でも実施例1と同様の効果を得ることが可能である。

[0038] 実施例3では、第1の磁性層21、第2の磁性層22の垂直磁化材料として、 $m-D_{0.19}$ 型の $Co_{75}Pt_{25}$ 規則合金を適用したが、それ以外の垂直磁化材料を適用しても実施例3と同様の効果が得られる。具体的な材料として、例えば、 $Co_{50}Pt_{50}$ 、 $Fe_{50}Pt_{50}$ 等の L_{10} 型の規則合金、もしくは、 $CoCrPt-SiO_2$ 、 $FePt-SiO_2$ など粒状の磁性体が非磁性体の母相中に分散したグラニューラ構造の材料、もしくは、Fe、Co、Niのいずれかもしくは一つ以上を含む合金と、Ru、Pt、Rh、Pd、Crなどの非磁性金属を交互に積層した積層膜、もしくは、 $TbFeCo$ 、 $GdFeCo$ など、Gd、Dy、Tb等の希土類金属に遷移金属を含んだアモルファス合金を用いてもよい。また、第1の磁性層21と第2の磁性層22に、異なる材料の組み合わせを用いてもよい。

[0039] また実施例3では、第1の高分極率磁性層41、第2の高分極率磁性層4

2の磁性材料として、 CoFeB を用いたが、それ以外にも、 bcc 結晶構造をとる $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 、 Fe などの材料を用いても良い。これらの材料は、特に第2の高分極率磁性層42として用いることが望ましい。例えば、第1の高分極率磁性層41としてアモルファスの CoFeB を成膜し、その上に MgO バリア層10を(001)に配向成長させる。その上に Fe を堆積すると MgO の結晶構造に従って Fe の bcc (001)構造が成長し、アニール処理によって、 bcc-CoFeB (001)/ MgO (001)/ bcc-Fe (001)を作製できる。また、キャップ層としては、アニール処理による磁性層との反応や拡散の観点から、実施例3で用いた Ru もしくは Ta が望ましい。ただし、それ以外の材料として、 Pt 、 Pd 、 Cr 、 Ti 、 W などの金属を用いてもよい。また、積層フェリ構造に使用する非磁性層31、32の材料としては実施例3で用いた Ru の他に、 Ir 、 Rh 、 Re 、 Os などの金属を用いてもよい。

[0040] <実施例4>

実施例4は、磁性層／非磁性層／高分極率磁性層の積層フェリ構成をバリア層の片側のみに適用した垂直磁化MTJ素子を提案するものである。図5に、実施例4におけるMTJ素子の断面模式図を示す。バリア層10下側に、垂直磁化を示す第1の磁性層21と第1の非磁性層31、及び電子スピンの分極率が高い第1の高分極率磁性層41による積層フェリ構造51を形成する。バリア層10の上側には第2の高分極率磁性層42を配し、その上に非磁性層を介さず直接、垂直磁化を示す第2の磁性層22を形成する。なお、図5に示すように、積層フェリ構造51において、第1の磁性層21と第1の高分極率磁性層41は第1の非磁性層31を介して反強磁性結合しており、それぞれの磁化61、62の方向は反平行になる。

[0041] 各層の材料としては、バリア層10に MgO (膜厚：1nm)、第1の磁性層21に m-DO_{19} 型の $\text{Co}_{75}\text{Pt}_{25}$ 規則合金(膜厚：10nm)、第2の磁性層22に Co/Pt の多層膜(Co 膜厚：0.4nm、 Pt 膜厚：0.6nm、積層回数：3周期)、第1の非磁性層31に Ru (膜厚：0.8nm

）、第1の高分極率磁性層41及び第2の高分極率磁性層42にはCoFeB（膜厚：1nm）を適用した。また、下地層13とキャップ層14にはRu（膜厚：10nm）を用いた。

[0042] 図5に示す積層薄膜構造の形成方法を説明する。基板5上に下部電極11、下地層13、第1の磁性層21、第1の非磁性層31、第1の高分極率磁性層41、バリア層10、第2の高分極率磁性層42までを積層した後、*in-situ*において300℃のアニール処理を行った。これにより、第1の高分極率磁性層41と第2の高分極率磁性層42のCoFeBをbcc（001）に結晶化させた。このように、はじめにCoFeBをbcc（001）に結晶化させた後、第2の磁性層22、キャップ層14、上部電極12を積層した。Co/Ptは成膜した状態で垂直磁化を発現するため、その後のアニール処理は不要である。素子形状の加工には実施例1と同様に、電子ビーム（EB）リソグラフィとイオンビームエッチングを用いた。

[0043] 実施例4のMTJ素子では、バリア層10の上側にある第2の磁性層22が記録層としてはたらく。第2の高分極率磁性層42と第2の磁性層22は磁気結合しており、二つの層の磁化は連動して同じ方向を向く。つまり、素子の動作に関して、各磁性層の磁化は実施例2で示した素子と同様の挙動を示す。

[0044] 実施例4のMTJ素子では、第2の高分極率磁性層42の上に非磁性層Ruがないものの、第2の高分極率磁性層42であるCoFeBはbcc（001）構造で形成できるため、実施例1から実施例3と同様100%以上のTMR比が得られた。

[0045] 実施例4では、第1の磁性層21、第2の磁性層22の垂直磁化材料として、 $m-D_{0.19}$ 型の $Co_{75}Pt_{25}$ 規則合金とCo/Ptの積層膜を適用したが、それ以外の垂直磁化材料を適用しても実施例4と同様の効果が得られる。具体的な材料として、例えば、 $Co_{50}Pt_{50}$ 、 $Fe_{50}Pt_{50}$ 等の L_{10} 型の規則合金、もしくは、 $CoCrPt-SiO_2$ 、 $FePt-SiO_2$ など粒状の磁性体为非磁性体の母相中に分散したグラニュー構造の材料、もしくは、Fe、C

o, Ni のいずれかもしくは一つ以上を含む合金と、Ru, Pt, Rh, Pd, Cr などの非磁性金属を交互に積層した積層膜、もしくは、TbFeCo, GdFeCo など、Gd, Dy, Tb 等の希土類金属に遷移金属を含んだアモルファス合金を用いてもよい。また、第1の磁性層21と第2の磁性層22に、同じ材料を用いてもよい。

[0046] また実施例4では、第1の高分極率磁性層41、第2の高分極率磁性層42の磁性材料として、CoFeBを用いたが、それ以外にも、bcc結晶構造をとるCo₅₀Fe₅₀, Feなどの材料を用いても良い。これらの材料は、特に第2の高分極率磁性層42として用いることが望ましい。例えば、第1の高分極率磁性層41としてアモルファスのCoFeBを成膜し、その上にMgOバリア層10を(001)に配向成長させる。その上にFeを堆積するとMgOの結晶構造に従ってFeのbcc(001)構造が成長し、アニール処理によって、bcc-CoFeB(001)/MgO(001)/bcc-Fe(001)を作製できる。また、キャップ層としては、アニール処理による磁性層との反応や拡散の観点から、実施例4で用いたRuもしくはTaが望ましい。ただし、それ以外の材料として、Pt, Pd, Cr, Ti, Wなどの金属を用いてもよい。また、積層フェリ構造に使用する第1の非磁性層31の材料としては実施例4で用いたRuの他に、Ir, Rh, Re, Osなどの金属を用いてもよい。

[0047] <実施例5>

実施例5は、本発明によるMTJ素子を適用したランダムアクセスメモリを提案するものである。図6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100は、実施例1～4に示したMTJ素子110を搭載している。

[0048] C-MOS111は、2つのn型半導体112, 113と一つのp型半導体114からなる。n型半導体112にドレインとなる電極121が電氣的に接続され、電極141及び電極147介してグラウンドに接続されている。n型半導体113には、ソースとなる電極122が電氣的に接続されてい

る。さらに１２３はゲート電極であり、このゲート電極１２３のＯＮ／ＯＦＦによりソース電極１２２とドレイン電極１２１の間の電流のＯＮ／ＯＦＦを制御する。上記ソース電極１２２に電極１４５、電極１４４、電極１４３、電極１４２、電極１４６が積層され、電極１４６を介してＭＴＪ素子１１０の下部電極１１が接続されている。

[0049] ビット線２２２は上記ＭＴＪ素子１１０の上部電極１２に接続されている。本実施例の磁気メモリセルでは、ＭＴＪ素子１１０に流れる電流、すなわちスピントランスファートルクによりＭＴＪ素子１１０の記録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、ＭＴＪ素子中を流れるスピン偏極した電流のスピンがトンネル磁気抵抗効果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。したがってＭＴＪ素子に外部から電流を供給する手段を備え、その手段を用いて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。本実施例では、ビット線２２２と電極１４６の間に電流を流すことにより１１０中の記録層の磁化の方向を制御する。

[0050] 図７は、上記磁気メモリセル１００をアレイ状に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１２３に接続されたワード線２２３、及びビット線２２２がメモリセル１００に電氣的に接続されている。実施例１～４に記載のＭＴＪ素子を備えた磁気メモリセルを配置することにより、従来よりも低消費電力で動作が可能な、ギガビット級の高密度磁気メモリを実現可能である。

[0051] 本構成の場合の書込みは、まず、電流を流したいビット線２２２に接続された書き込みドライバにライトイネーブル信号を送って昇圧し、ビット線２２２に所定の電流を流す。電流の向きに応じ、書き込みドライバ２３０ないし書き込みドライバ２３１のいずれかをグランドに落として、電位差を調節して電流方向を制御する。次に所定時間経過後、ワード線２２３に接続された書き込みドライバ２３２にライトイネーブル信号を送り、書き込みドライバ２３２を昇圧して、書き込みたいＭＴＪ素子に接続されたトランジスタを

オンにする。これによりMTJ素子に電流が流れ、スピントルク磁化反転が行われる。所定の時間、トランジスタをオンにしたのち、書込みドライバ232への信号を切断し、トランジスタをオフにする。読出しの際は、読出したいMTJ素子につながったビット線222のみを読出し電圧Vに昇圧し、選択トランジスタのみをオンにして電流を流し、読出しを行う。この構造は最も単純な1トランジスタ+1メモリセルの配置なので、単位セルの占める面積は $2F \times 4F = 8F^2$ と高集積なものにすることができる。

符号の説明

- [0052] 5 基板
- 10 バリア層
 - 11 下部電極
 - 12 上部電極
 - 13 下地層
 - 14 キャップ層
 - 21 第1の磁性層
 - 22 第2の磁性層
 - 31 第1の非磁性層
 - 32 第2の非磁性層
 - 41 第1の高分極率磁性層
 - 42 第2の高分極率磁性層
 - 51, 52 積層フェリ構成
 - 61～64 磁化
 - 70 電流
 - 80 電子
 - 100 メモリセル
 - 110 MTJ素子
 - 111 CMOS
 - 112, 113 n型半導体

- 1 1 4 p型半導体
- 1 2 1 ソース電極
- 1 2 2 ドレイン電極
- 1 2 3 ゲート電極
- 1 4 1 ~ 1 4 7 電極
- 1 5 0 書き込み線
- 2 0 5 ~ 2 0 8 磁性層
- 2 0 9, 2 1 0 非磁性層
- 2 1 1, 2 1 2 高分極率磁性層
- 2 1 3 バリア層
- 2 1 4, 2 1 5 積層フェリ構成
- 2 1 6 磁化
- 2 1 7 磁化
- 2 2 2 ビット線
- 2 2 3 ワード線
- 2 3 0 ~ 2 3 2 書き込みドライバ

請求の範囲

- [請求項1] 垂直磁化を示す磁性層を含み膜厚方向に流れる電流によって磁化の方向が反転する記録層と、
- 垂直磁化を示す磁性層を含み磁化の方向が固定された固定層と、
- 前記記録層と前記固定層の間に配置されたバリア層とを備え、
- 前記固定層及び前記記録層の少なくとも一方は、非磁性層を挟んで高分極率磁性層と前記垂直磁化を示す磁性層が磁気結合した積層薄膜であり、
- 前記高分極率磁性層は、前記バリア層の両側界面に配置されていることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層と前記固定層の少なくとも一方は、前記高分極率磁性層と前記垂直磁化を示す磁性層の磁化が反強磁性結合していることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。
- [請求項3] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層と前記固定層の少なくとも一方は、前記高分極率磁性層と前記垂直磁化を示す磁性層の磁化が強磁性結合していることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記非磁性層の材料はRuであることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記バリア層の材料はMgOであり、前記高分極率磁性層の材料はCoFeB、CoFe又はFeであることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。
- [請求項6] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層及び前記固定層を構成する、前記垂直磁化を示す磁性層の両方もしくは一方は、 $m\text{-D}_{0.19}$ 型のCoPt規則合金、 $L_{1.1}$ 型のCoPt規則合金、もしくはCo-Pt、Co-Pd、Fe-Pt、Fe-Pdのいずれかを主成分とする $L_{1.0}$ 型の規則合金であることを特徴とする

トンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項7] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層及び前記固定層を構成する、前記垂直磁化を示す磁性層の両方もしくは一方は、C oを含み、C r, T a, N b, V, W, H f, T i, Z r, P d, F e, N iの中から選択される1つ以上の元素を含む合金であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項8] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層及び前記固定層を構成する、前記垂直磁化を示す磁性層の両方もしくは一方は、F e, C o, N iのいずれか、もしくはその中の1つ以上を含む合金と、非磁性金属とを交互に積層した積層膜であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項9] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層及び前記固定層を構成する、前記垂直磁化を示す磁性層の両方もしくは一方は、粒状の磁性体が非磁性体の母相中に分散したグラニュー構造の材料であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項10] 請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子において、前記記録層及び前記固定層を構成する、前記垂直磁化を示す磁性層の両方もしくは一方は、希土類金属と遷移金属を含んだアモルファス合金であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

[請求項11] 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た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、請求項1～10のいずれか1項に記載のトンネル磁気抵抗効果素子と、前記トンネル磁気抵抗効果素子の膜厚方向に通電するためのトランジスタとを備え、

前記トランジスタの一端が第一の書込みドライバ回路に接続されたソース線に電氣的に接続され、

前記メモリセルの前記トランジスタに接続されていない側の端部が、第二の書込みドライバ回路と読出し信号を増幅するアンプに接続さ

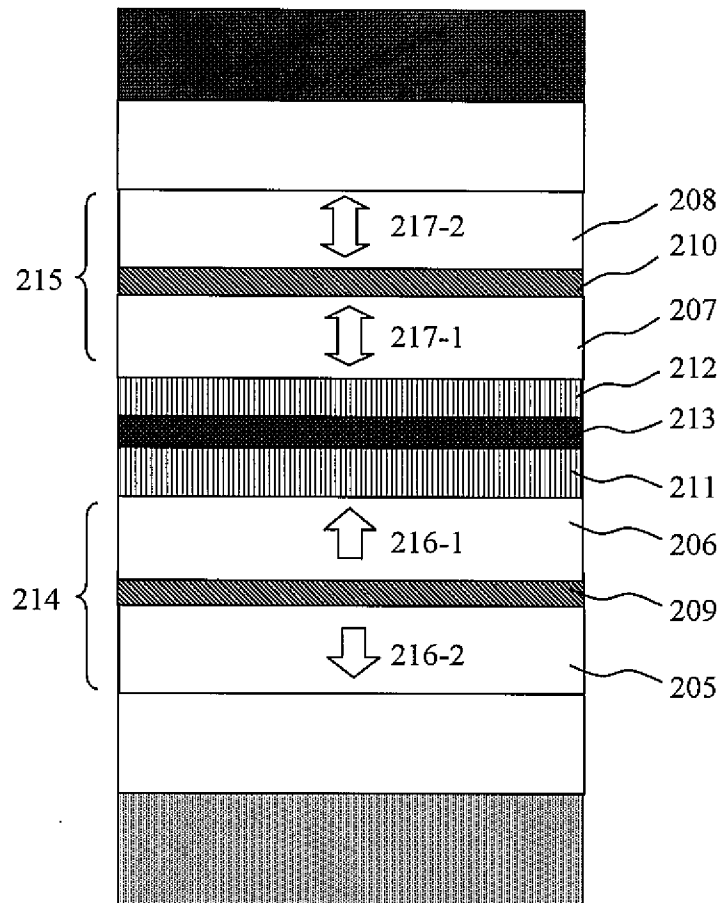
れたビット線に接続され、

前記トランジスタの抵抗を制御するワード線を備え、該ワード線が第三の書込みドライバ回路に接続され、

前記磁気メモリセルの膜厚方向に通電して前記記録層をスピントランスファートルクにより磁化反転させることによって情報の書込を行うことを特徴とするランダムアクセスメモリ。

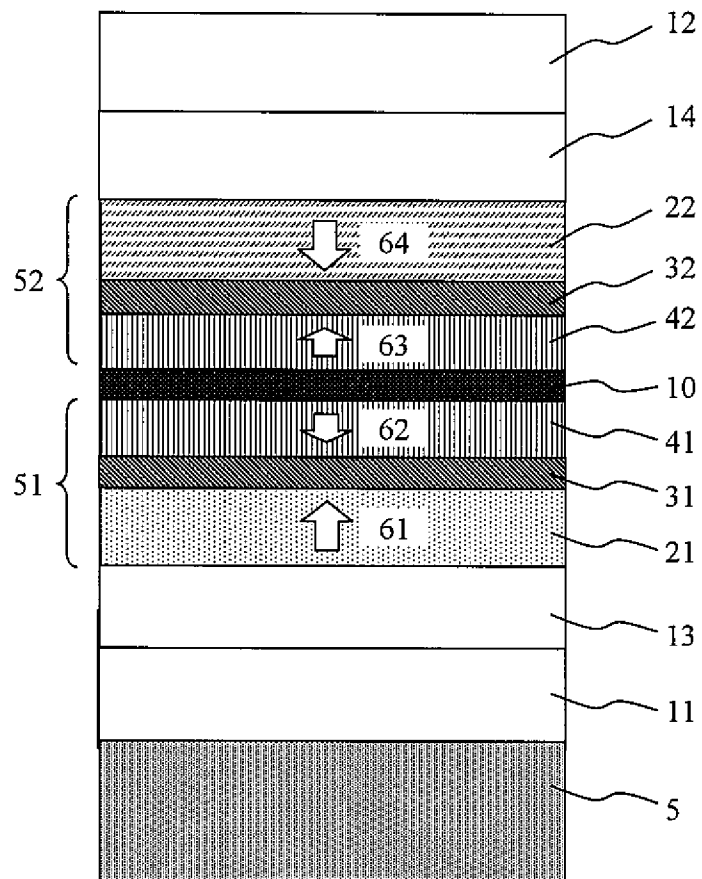
[図1]

図 1



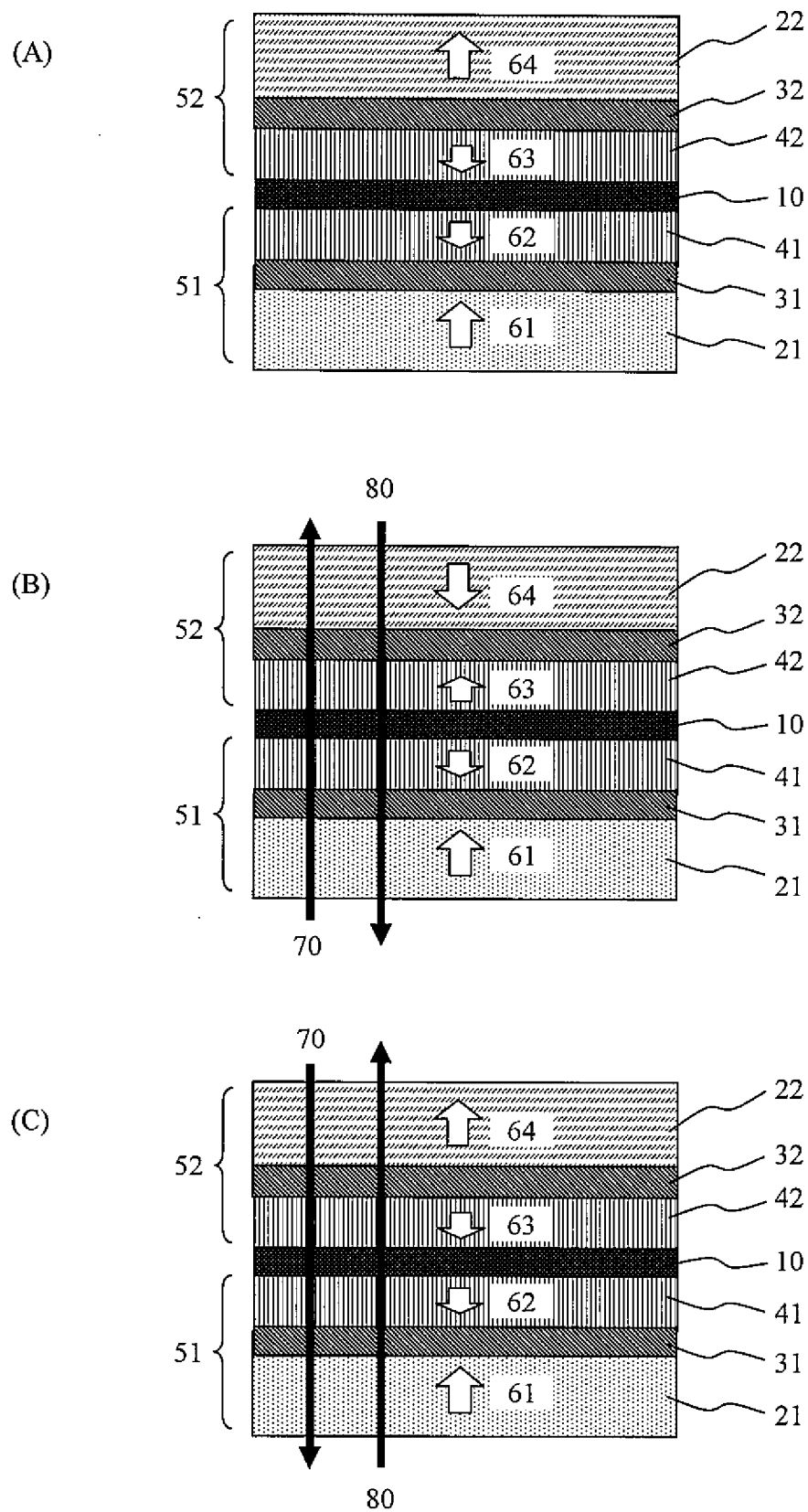
[図2]

図 2



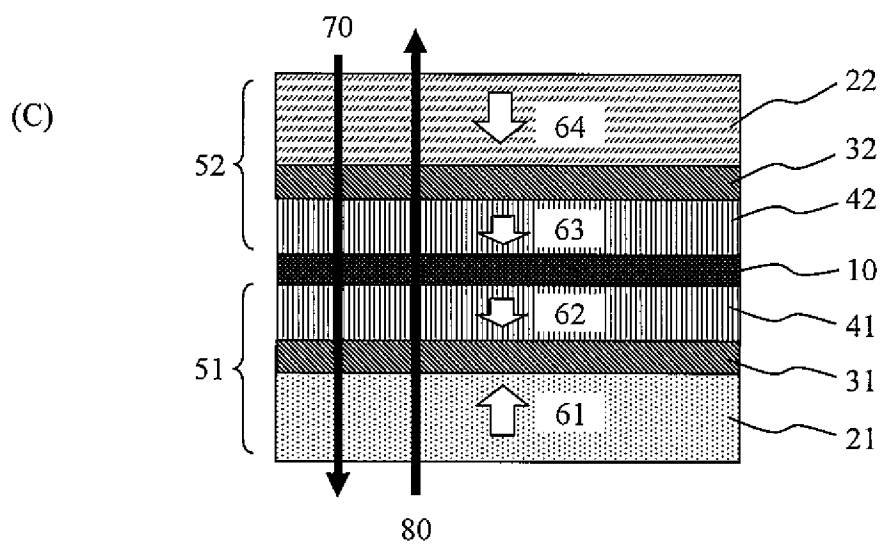
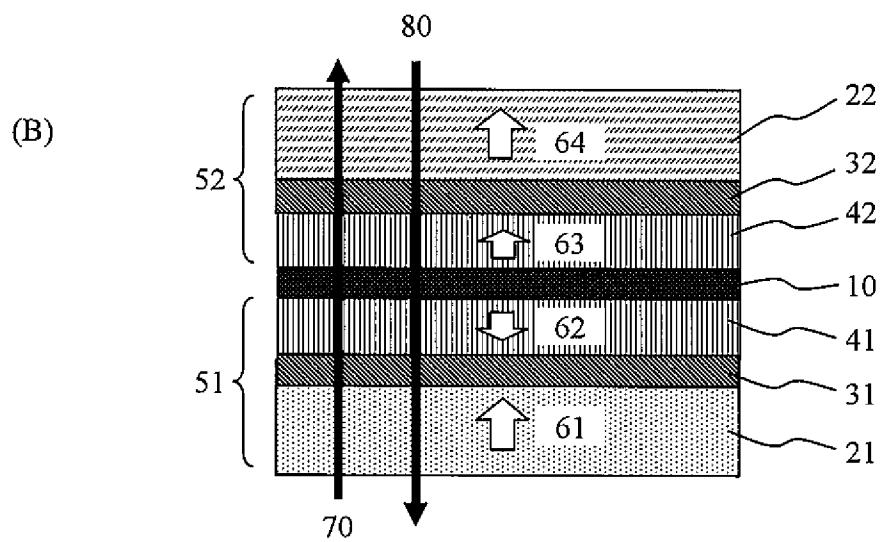
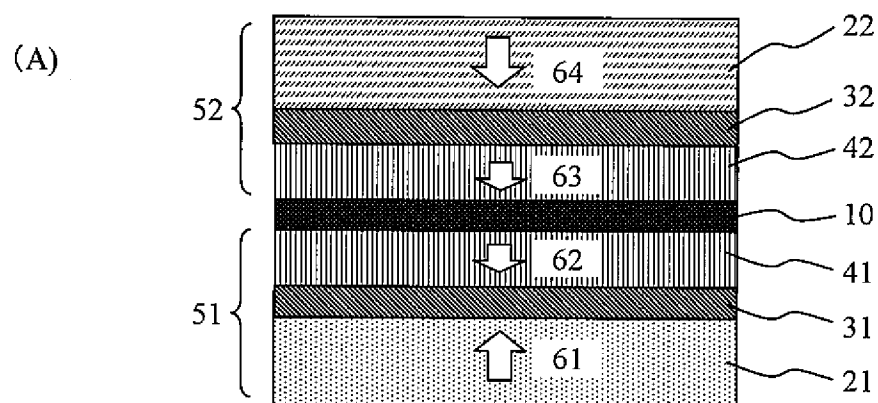
[図3]

図 3



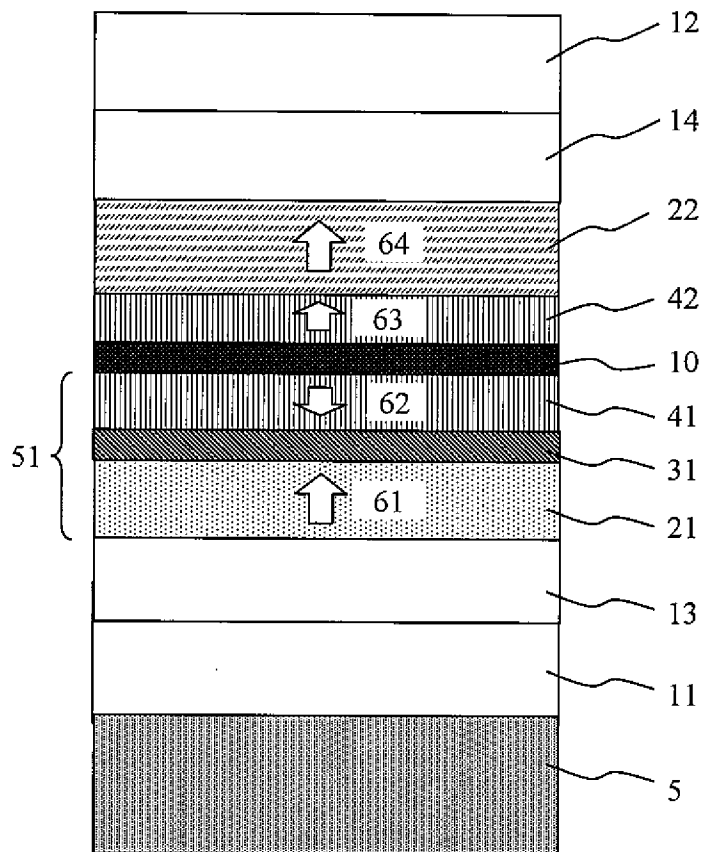
[図4]

図 4



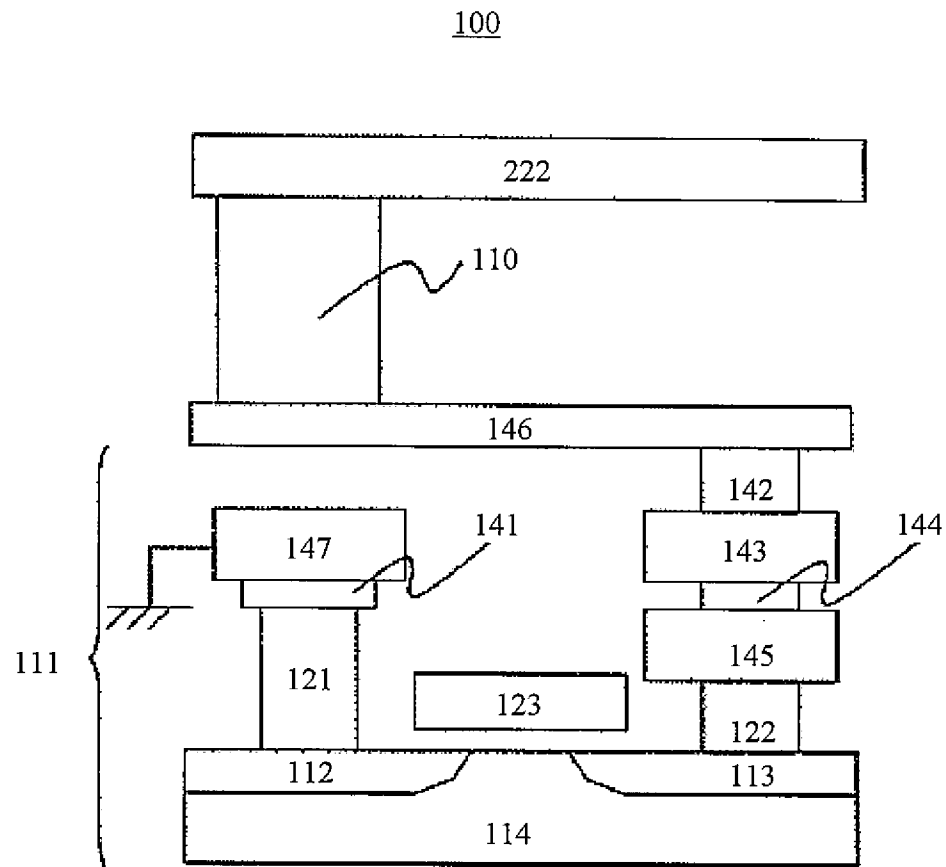
[図5]

図 5



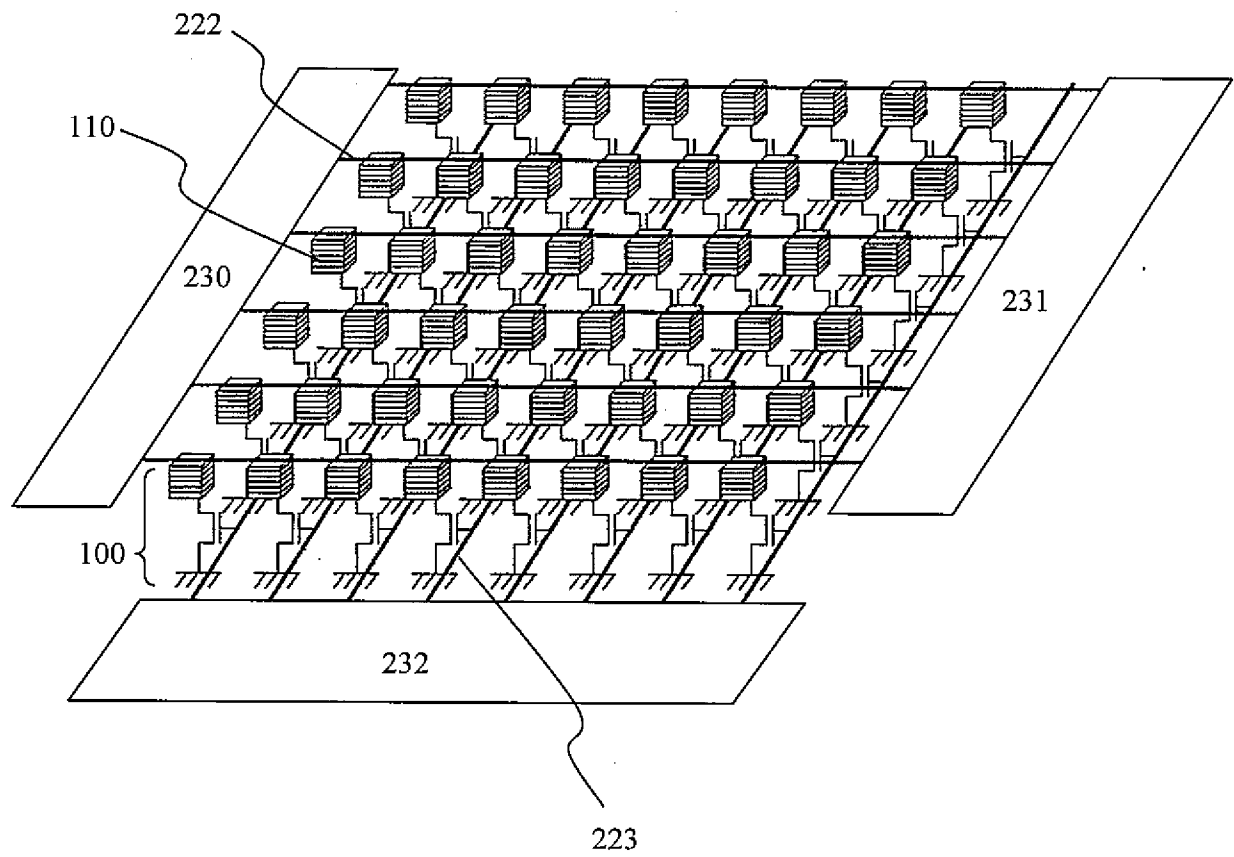
[図6]

図 6



[図7]

図 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/059066

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/08(2006.01)i, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i,
H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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, H01F10/16, H01F10/32, H01L21/8246, H01L27/105, H01L29/82

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2001-257395 A (Sharp Corp.), 21 September 2001 (21.09.2001), paragraphs [0020] to [0045] (Family: none)	1-4, 10, 11 5-9, 11
Y	JP 2008-283207 A (Toshiba Corp.), 20 November 2008 (20.11.2008), paragraphs [0022] to [0222] & US 2007/0086121 A1	5-9, 11

☐ 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
18 August, 2010 (18.08.10)

Date of mailing of the international search report
31 August, 2010 (31.08.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/059066

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Since the invention in claim 1 does not make contribution over the prior art document, the invention in claim 1 and the invention in claims 2 - 11 cannot be considered to have a common "special technical feature".

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

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, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i,
H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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, H01F10/16, H01F10/32, H01L21/8246, H01L27/105, 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	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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 Y	JP 2001-257395 A (シャープ株式会社) 2001.09.21, 段落【0020】 - 【0045】 (ファミリーなし)	1-4, 10, 11 5-9, 11
Y	JP 2008-283207 A (株式会社東芝) 2008.11.20, 段落【0022】 - 【0222】 & US 2007/0086121 A1	5-9, 11

☐ 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 8 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 8 . 2 0 1 0

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)

川村 裕二

4 M

3 3 4 9

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

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1に係る発明は先行技術文献に技術的貢献をもたらすものではないので、請求項1に係る発明と請求項2～11に係る発明とが共通の「特別な技術的特徴」を有しているとは認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。