

(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
2017年1月19日(19.01.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/010549 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/8246 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01F 10/16 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
H01F 10/32 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/070850
- (22) 国際出願日: 2016年7月14日(14.07.2016)
- (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 2015-155481 2015年7月16日(16.07.2015) JP
- (71) 出願人: 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: 佐藤 英夫(SATO Hideo); 〒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); 〒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). マティアス ベルスワイラー(Mathias BERSWEILER); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二

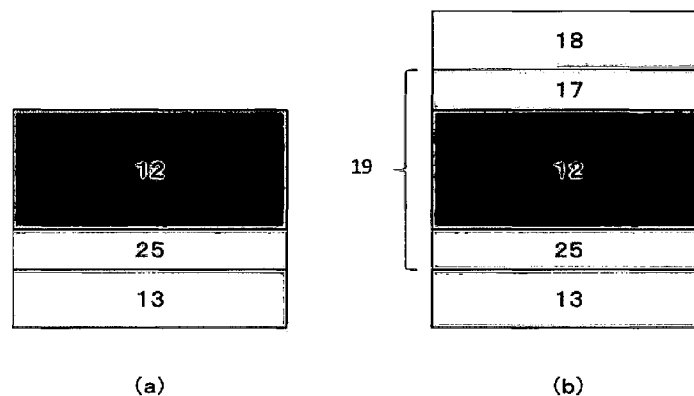
丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 本庄 弘明(HONJOU Hiroaki); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 渡部 杏太(WATANABE Kyota); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 深見 俊輔(FUKAMI Shunsuke); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 松倉 文▲礼▼(MATSUKURA Fumihito); 〒9808577 宮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). 伊藤 顕知(ITO Kenchi); 〒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). 丹羽 正昭(NIWA Masaaki); 〒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). 遠藤 哲郎(ENDO H Tetsuo); 〒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); 〒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).

[続葉有]

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子および磁気メモリ

図1



(57) Abstract: The present invention realizes a highly integrated high-capacity magnetic memory through miniaturization. The present invention can provide: a magnetoresistive element; and a magnetic memory using the magnetoresistive element, wherein the magnetoresistive element is provided with a first magnetic layer (25) having a magnetization direction perpendicular to a film surface, a first non-magnetic layer (13) disposed adjacent to one side of the first magnetic layer (25), and a second magnetic layer (12) which is disposed adjacent to the other side of the first magnetic layer (25) opposed to the first non-magnetic layer (13) and has a magnetization direction perpendicular to the film surface. The first magnetic layer (25) includes at least one 3d ferromagnetic transition metal element such as Co, Fe, Ni and Mn, and has the function of increasing the interfacial magnetic anisotropy energy density (K_i) at the interface between the first magnetic layer (25) and the first non-magnetic layer (13), and the second magnetic layer (12) includes at least one 3d ferromagnetic transition metal element such as Co, Fe, Ni and Mn, and has a saturation magnetization lower than the saturation magnetization (M_s) of the first magnetic layer (25).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/010549 A1



(74) 代理人: 特許業務法人 英知国際特許事務所
(EICHI PATENT & TRADEMARK CORP.); 〒
1120011 東京都文京区千石 4 丁目 4 5 番 1 3 号
Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 4.17 に規定する申立て:

— 出願し及び特許を与えられる出願人の資格に関する申立て (規則 4.17(ii))

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

微細化により高集積化された大容量の磁気メモリを実現する。磁化方向が膜面垂直方向である第 1 の磁性層 (25) と、第 1 の磁性層 (25) に隣接して設けられる第 1 の非磁性層 (13) と、第 1 の磁性層 (25) の第 1 の非磁性層 (13) とは反対側に隣接して設けられ、磁化方向が膜面垂直方向である第 2 の磁性層 (12) とを備え、第 1 の磁性層 (25) は、Co、Fe、Ni、Mn などの 3d 強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含み、第 1 の非磁性層 (13) との界面に界面磁気異方性エネルギー密度 (Ki) を増大させる機能を有し、第 2 の磁性層 (12) は、Co、Fe、Ni、Mn などの 3d 強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含み、第 1 の磁性層 (25) の飽和磁化 (Ms) よりも低い飽和磁化である、磁気抵抗効果素子及び当該磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリを提供することができる。

明 細 書

発明の名称：磁気抵抗効果素子および磁気メモリ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子および磁気メモリに関する。

背景技術

[0002] 図14に示すように、従来の磁気抵抗効果素子を有する磁気メモリ（Magnetic Random Access Memory：MRAM）の磁気メモリセル（105）は、磁気抵抗効果素子（110）と選択トランジスタ（109）とが直列に電氣的に接続された構造を有している。選択トランジスタ（109）のソース電極はソース線（102）に、ドレイン電極は磁気抵抗効果素子（110）を介してビット線（104）に、ゲート電極はワード線（103）にそれぞれ電氣的に接続されている。磁気抵抗効果素子（110）は、第6の磁性層（111）（参照層）と第1の磁性層（112）との間に第1の非磁性層（113）が挟まれた3層構造を基本としている。磁気抵抗効果素子（110）の抵抗値は、第6の磁性層（111）（参照層）の磁化と第1の磁性層（112）の磁化とが平行配置の場合に小さくなり、反平行配置の場合に大きくなる。MRAMのメモリセルでは、この2つの抵抗状態をビット情報「0」「1」に割り当てている。

[0003] MRAMは、高集積化のために、年々、磁気抵抗効果素子（110）が微細化されている。磁気抵抗効果素子（110）の第6の磁性層（111）（参照層）および第1の磁性層（112）は共に、微細化すると磁化が熱擾乱し、ビット情報が消失してしまうことが懸念される。そこで、微細化してもビット情報を保持するために、記録層となる第1の磁性層（112）は70以上の熱安定性指数（ $E/k_B T$ ）を有し、参照層となる第6の磁性層（111）（参照層）は第1の磁性層（112）よりも大きな熱安定性指数（ $E/k_B T$ ）を有することが必要である。ここで、 E は、磁化反転に要するエネルギー障壁であり、第6の磁性層（111）（参照層）もしくは第1の磁性層

1 1 2 の磁気異方性エネルギー密度 K_{eff} と体積 V との積 ($E = K_{\text{eff}} V$) である。また、 k_B はボルツマン係数、 T は絶対温度である。

[0004] 高い熱安定性指数 $E / k_B T$ を得るためには、第 6 の磁性層 (1 1 1) (参照層) もしくは第 1 の磁性層 (1 1 2) の実効磁気異方性エネルギー密度 K_{eff} を増加させる必要がある。この観点から、第 6 の磁性層 (1 1 1) (参照層) もしくは第 1 の磁性層 (1 1 2) が垂直磁化容易軸を有する垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子が注目されている。このような垂直磁気異方性電極として、希土類基アモルファス合金、 L_{10} -規則系 (Co、Fe) - Pt 合金、Co / (Pd、Pt) 多層膜等が研究されている (例えば、非特許文献 1、2 または 3 参照)。

[0005] また、本発明者等により、CoFeB / MgO 積層構造において、CoFeB の薄層化により垂直磁気異方性が発現することが見出され (例えば、特許文献 1 参照)、この CoFeB / MgO 積層構造を垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子に適用することにより、記録層の第 1 の磁性層 (1 1 2) において、接合サイズ直径 40 nm で、 $E / k_B T \cong 40$ が得られている (例えば、非特許文献 4 参照)。さらに、熱安定性の向上を目指し、2 重 CoFeB / MgO 界面記録層構造にして記録層の磁性層を厚くすることにより、記録層の第 1 の磁性層 1 1 2 において、接合サイズ直径 40 nm 台のとき、 $E / k_B T$ が 80 以上、接合サイズ直径 29 nm のとき、 $E / k_B T \cong 59$ が得られている (例えば、非特許文献 6 参照)。

ここで、磁性層の接合サイズとは、隣り合う非磁性層や電極と接する接合面上で、最も長い直線の長さである。非特許文献 4 および 5 では、磁性層が円柱形状を成し、接合面が円形であるため、接合サイズは接合面の直径となる。接合面が直径の場合の接合サイズを接合サイズ直径という。

[0006] なお、図 15 (a) に示すように、非特許文献 4 に記載の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子は、第 6 の磁性層 (1 1 1) (参照層) と第 1 の磁性層 (1 1 2) との間に第 1 の非磁性層 (1 1 3) が挟まれた 3 層構造に、下部非磁性電極 (1 1 4) と上部非磁性電極 (1 1 5) とを接続した基本構造を有

している。

[0007] また、図15(b)に示すように、非特許文献5に記載の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子は、非磁性層(113)上の第1の磁性層(112)に第3の非磁性層(116)を積層し、その上に第3の磁性層(117)を積層し、第3の磁性層(117)の上に、第3の磁性層(117)との間に界面磁気異方性が発生する第2の非磁性層(118)を積層した5層構造を有している。非特許文献5には、この5層構造を用いることで、熱安定性を向上できることが記載されている。第1の磁性層(112)と第3の磁性層(117)は第3の非磁性層(116)を介して磁氣的結合し記録層(119)として機能する。

[0008] 図15(c)において、第6の磁性層(111)(参照層)からの漏れ磁束が記録層(119)に影響し、第6の磁性層(111)(参照層)と記録層(119)の反平行磁化配列の熱安定性を低下させてしまう。そこで、非特許文献7に記載の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子は、第6の磁性層(111)(参照層)と第7の磁性層(120)が第4の非磁性層(121)を介して強磁性的に結合し、その部分と第8の磁性層(122)とが第5の非磁性層(123)を介して反平行に配列させた第1の参照層(124)を有する。この反平行結合参照層にすることで、第1の参照層(124)から第1の記録層(119)に加わる漏れ磁束を低減でき、第6の磁性層(111)(参照層)と第1の記録層(119)の反平行磁化配列の熱安定性を改善することができる。

先行技術文献

非特許文献

[0009] 非特許文献1: N. Nishimura, T. Hirai, A. Koganei, T. Ikeda, K. Okano, Y. Sekiguchi, and Y. Osada, "Magnetic tunnel junction device with perpendicular magnetization films for high-density magnetic random access memory", J. Appl. Phys. 2002, 91, 5246

非特許文献2: G. Kim, Y. Sakuraba, M. Oogane, Y. Ando and T. Miyazaki,

''Tunneling magnetoresistance of magnetic tunnel junctions using perpendicular magnetization electrodes'', Appl. Phys. Lett. 2008, 92, 17 2502

非特許文献3: K. Mizunuma, S. Ikeda, J. H. Park, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, H. Hasegawa, J. Hayakawa, F. Matsukura and H. Ohno, ''MgO barrier-perpendicular magnetic tunnel junctions with CoFe/Pd multilayers and ferromagnetic insertion layers'', Appl. Phys. Lett. 2009, 95, 232516.

非特許文献4: S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, ''A perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junction'', Nature Mater., 2010, 9, 721

非特許文献5: H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, ''Perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions with a MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO recording structure'', Appl. Phys. Lett. 2012, 101, 022414.

非特許文献6: H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, ''MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO recording structure in magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis'', IEEE Trans. Magn., 2013, 49, 4437

非特許文献7: H. Sato, T. Yamamoto, M. Yamanouchi, S. Ikeda, S. Fukami, K. Kinoshita, F. Matsukura, N. Kasai, and H. Ohno, ''Comprehensive study of CoFeB-MgO magnetic tunnel junction characteristics with single- and double-interface scaling down to 1X nm'', Tech. Dig. -Int. Electron Devices Meet. 2013, 3.2.1.

非特許文献8: S. Ikeda, R. Koizumi, H. Sato, M. Yamanouchi, K. Miura, K. Mizunuma, H. D. Gan, F. Matsukura, and H. Ohno, ''Boron Composition Dependence of Magnetic Anisotropy and Tunnel Magnetoresistance in

MgO/CoFe(B) Based Stack Structures'', IEEE Trans. Magn., 2012, 48, 38
29

特許文献

[0010] 特許文献1：特開2011-258596号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 微細化により高集積化された大容量の磁気メモリを実現するためには、記録されたビット情報を10年間保持する不揮発性が必要である。そのためには、記録層となる磁性層は、熱安定性指数70以上の熱安定性を有する必要がある。非特許文献4に記載の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子では、記録層の接合サイズ直径40nmで熱安定性指数が約40であり、熱安定性指数が70以下である。また、非特許文献5に記載の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子では、記録層の接合サイズ直径40nm台のとき、熱安定性指数が80以上になっているが、接合サイズ直径29nmのとき、熱安定性指数が約59で熱安定性指数70以下である。さらに、非特許文献7に記載の反平行結合した参照層を用いた垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子では、記録層の接合サイズ直径30nm台のとき、熱安定性指数が90以上になっているが、接合サイズ直径20nmのとき、熱安定性指数が約58で熱安定性指数70以下である。微細化により高集積化された大容量の磁気メモリを実現するためには、微細な接合サイズで記録層の熱安定性をさらに向上させる必要があるという課題があった。

また、微細化により高集積化した大容量の磁気メモリに応用される垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子の、磁性層と非磁性層の接合面に要求される特性（高いトンネル磁気抵抗（TMR）比、低い書込み電流 I_{co} 及び高い熱安定性）のうち、書込み電流 I_{co} はダンピング定数 α により決まるため、ダンピング定数 α は0.01以下にする必要があるという課題があった。

[0012] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、微細な接合サイズであっても熱安定性指数70以上の熱安定性を有する磁気抵抗効果素子およ

び磁気メモリを提供することを目的とする。

また、微細な接合サイズであってもダンピング定数 $\alpha 0.01$ 以下、界面磁気異方性エネルギー密度 2.6 mJ/m^2 以上の磁気抵抗効果素子および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

[0013] 磁気抵抗効果素子の高い熱安定性を実現するために、本発明者等は、以下の原理に基づいて検討を行った。すなわち、磁気抵抗効果素子のビット情報の保持性能を決める、記録層として機能する強磁性層の熱安定性指数 $E/k_B T$ において、エネルギー障壁 E は、実効磁気異方性エネルギー密度 K_{eff} と記録層の体積 V (面積 $S \times$ 記録層厚 t)との積で表される。ここで、 x 軸、 y 軸を平面内、 z 軸をその平面に垂直な面直方向にとった座標において、実効磁気異方性エネルギー密度 K_{eff} と記録層厚 t の積は、以下の(数1)の式のように表される。

[0014] [数1]

$$K_{\text{eff}}t = K_i - \left[(N_z - N_x) \frac{M_s^2}{2\mu_0} + K_b \right] t$$

ここで、 K_b は結晶磁気異方性や磁気弾性効果に由来するバルク磁気異方性エネルギー密度、 N_z および N_x はそれぞれ z 軸および x 軸の反磁界係数、 M_s は記録層の飽和磁化、 μ_0 は真空の透磁率、 K_i は界面磁気異方性エネルギー密度である。なお、 N_x は y 軸の反磁界係数 N_y と等しいとする。 N_z および N_x は記録層が円筒形の場合に厳密に求めることは難しく、楕円近似により数値計算により求めることができる。 $K_{\text{eff}}t$ は、正符号の時に面直方向に磁化容易軸となる。

[0015] 非特許文献7に記載されているように、 $\text{CoFe(B)}/\text{MgO}$ 接合においては、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i を CoFeB と MgO の界面に誘起させ、垂直磁気異方性($K_{\text{eff}} > 0$)を得ることができる。しかしながら、界面磁気異方性エネル

ギ一密度 K_i を得るためにMgOと接する強磁性層としてCoFeBを用いる場合、Bを含まないCoFeよりも界面磁気異方性エネルギー密度 K_i が低くなってしまう。一方、Bを含まないCoFeとMgOが接することで高い界面磁気異方性エネルギー密度 K_i が得られるものの、CoFeはCoFeBに比べ飽和磁化 M_s が高いために反磁界 $(-(N_z - N_x)M_s/2\mu_0)$ が大きく、面内磁気異方性 $(K_{\text{eff}} < 0)$ となってしまう垂直磁気異方性は得られない。

[0016] また、垂直磁気異方性磁気トンネル接合(p-MTJ)におけるスピン注入磁化反転の書込み電流 I_{C0} と熱安定性指数 Δ ($= E / k_B T$) については以下の数式の関係が知られている。

[数2]

$$I_{C0} = 4\alpha \frac{ek_B T}{\hbar P} \Delta = 4\alpha \frac{e}{\hbar P} K_{\text{eff}} t S$$

[数3]

$$\Delta = \frac{K_{\text{eff}} t S}{k_B T}$$

α はダンピング定数、 e は素電荷、 $\hbar$ はディラック定数、 P はスピン分極率、 S は接合面積である。

ここで、高い熱安定指数 Δ を維持し、低い書込み電流 I_{C0} を実現するためには、高い $K_{\text{eff}} t$ かつ低いダンピング定数 α の記録層にする必要がある。また、ダンピング定数 α と $K_{\text{eff}} t$ の関係については、以下のような関係がある(表1)。

[0017]

[表1]

	$K_{\text{eff}}t$ (実効磁気異方性エネルギー密度と記録層膜厚の積)			
	K_i (界面磁気異方性エネルギー密度)	$-((N_z - N_x)Ms^2/2\mu_0)t$	K_b (バルク磁気異方性エネルギー密度)	
			K 結晶磁気異方性エネルギー密度	K 磁気弾性エネルギー密度
α (ダンピング定数)	相関あり	材料系が変わると M_s (飽和磁化)と α (ダンピング定数)に相関なし	同一材料系で、相関あり	—

[0018] さらに、高いトンネル磁気抵抗 (TMR) 比を同時に満足するためには障壁層をMgOとするMTJ (磁気トンネル接合) にすることが好ましい。

[0019] ダンピング定数 α の上昇を抑制しつつ、高い $K_{\text{eff}}t$ を得るためには、CoFe(B)とMgOの界面における界面磁気異方性エネルギー密度 K_i を低下させないように、低 M_s 化を図る (飽和磁化 M_s を低くする) 必要がある。

本発明者等は、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i を低下させないように、低 M_s 化を図ることができる特性を具備した記録層から成る磁気抵抗効果素子および磁気メモリを発明するに至った。

すなわち、本発明に係る磁気抵抗効果素子の記録層は、ダンピング定数 α の上昇抑制のために、非磁性層との界面のみ高い界面磁気異方性エネルギー密度 K_i となる磁性材料を適用し、 $K_{\text{eff}}t$ の増大のために非磁性層との界面以外は飽和磁化 M_s の低い材料を適用するものである。

[0020] 本発明に係る磁気抵抗効果素子及び磁気メモリは、微細な接合サイズであってもダンピング定数 α の上昇を抑制し、かつ高い熱安定性の記録層を有する磁気抵抗効果素子および磁気メモリを提供することを可能にした。

[0021] 図2 (a) はCoFe(B)/MgO積層膜の飽和磁化 M_s のB(0~25at%)組成依存性である。このB組成はターゲット組成であり、膜中のBの組成は0~33at%で変化している。B組成の減少とともに飽和磁化 M_s は増加することがわかる。

図2 (b) は、CoFe(B)とMgO間の界面で生じる界面磁気異方性エネルギー密度 K_i のB組成依存性であり、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i はB組成の減少とともに増加する。

この結果より、 $K_{\text{eff}}t$ すなわち $\Delta (=K_{\text{eff}}tS/k_B T)$ は K_i と、反磁界($-M_s^2/2\mu_0$)のトレードオフの関係で決まってくる。磁化測定ではブランケット膜を測定するため反磁界係数 $N_z - N_x = 1$ となる。

[0022] 非特許文献4より、CoFeB/MgO単界面の界面磁気異方性エネルギー密度 K_i は1.3 mJ/m²であり、2重CoFeB-MgO界面にすることで理想的には単界面の界面磁気異方性エネルギー密度 K_i の2倍の $2K_i = 2.6$ mJ/m²となる。一方、非特許文献8より、CoFe/MgO単界面の界面磁気異方性エネルギー密度 K_i は1.8 mJ/m²であり、2重界面とすることで理想的には $2K_i = 3.6$ mJ/m²となる。2重CoFe/MgO界面構造とし、中間にCoFeBを挿入し、全体の飽和磁化 M_s を変化させた時の式(数1)と式(数2)を用い計算した熱安定性指数 $E/k_B T (= \Delta)$ を図3に示す。CoFeとCoFeBの全体の記録層の厚さは2.6nmとした。MgO/CoFe/CoFeB/CoFe/MgO構造とすることで、非特許文献5から7記載の従来構造のMgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgOよりも高い $E/k_B T$ が得られることがわかる。表2に示すようにMgO/CoFe/CoFeB/CoFe/MgO記録層の飽和磁化 M_s を1.5Tとしても20nm直径のMTJ(磁気トンネル接合)で熱安定性指数が100以上を示す。MgO/CoFe/CoFeB/CoFe/MgO構造の飽和磁化 M_s は、CoFeやCoFeBの組成や膜厚を変えることによって調整できる。

[0023] [表2]

F (nm)	S (m ²)	t^* (nm)	k_B	T (K)	M_s (T)	K_i (J/m ²)	$2K_i$ (J/m ²)	N_z	N_x	$(N_z - N_x)M_s^2/2\mu_0$ (J/m ³)	K_b (J/m ³)	Delta
20	3.14E-16	2.60E-09	1.381E-23	300	1	1.80E-03	3.60E-03	8.25E-01	8.70E-02	287788	0	216
20	3.14E-16	2.60E-09	1.381E-23	300	1.5	1.80E-03	3.60E-03	8.25E-01	8.70E-02	647478	0	145
20	3.14E-16	2.60E-09	1.381E-23	300	1	1.30E-03	2.60E-03	8.25E-01	8.70E-02	287788	0	140
20	3.14E-16	2.60E-09	1.381E-23	300	1.5	1.30E-03	2.60E-03	8.25E-01	8.70E-02	647478	0	70

[0024] 非特許文献8では、CoFeの飽和磁化 M_s は2.3Tで、成膜時のCoFeBの飽和磁化 M_s は0.5Tが得られている。この飽和磁化 M_s が ~ 2.3 TのCoFeと飽和磁化 M_s が ~ 0.5 TのCoFeBを使用した場合、記録層全体の飽和磁化 M_s を1.5T以下にするためにはCoFeBとCoFeの膜厚比 $t_{\text{CoFeB}}/t_{\text{CoFe}}$ を1.5以上とすればよい。界面に使用するCoFeは当然CoFeBよりもBで希釈していないためにCoFeの原子分率は高い。例えば、 $(\text{CoFe})_{67}\text{B}_{33}$ とCoFeのCoFeの原子分率の比は $67/100 = 0.67$ で、1以下

となる。

別の例としては、飽和磁化 M_s が ~ 2.2 TのFeと飽和磁化 M_s が ~ 1.5 TのFeVを使用した場合、記録層全体の飽和磁化 M_s を 1.5 T以下にするためにはFeVとFeの膜厚比 $t_{\text{FeV}}/t_{\text{Fe}}$ を 1.5 以上とすればよい。界面に使用するFeは当然FeVよりもVで希釈していないためにFeの原子分率は高い。例えば、 $\text{Fe}_{80}\text{V}_{20}$ とFe の場合のFeの原子分率の比は $80/100=0.8$ 、 1 以下となる。

[0025] したがって、 1 つの非磁性層と 1 つの磁性層の界面を有する図 1 (a) に示す構造においては、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i を増加させる第 1 の磁性層(25)を第 1 の非磁性層(13)上に堆積し、前記第 1 の磁性層(25)上に低い飽和磁化 M_s である第 2 の磁性層(12)を堆積することにより、微細な素子で書込み電流 I_{co} を抑制しながら高い熱安定性を得ることができる磁気抵抗効果素子を提供することができる。

また、前記界面を 2 つ有する場合には、図 1 (b) に示すように、低い飽和磁化 M_s である第 2 の磁性層(12)と第 1 の非磁性層(13)、前記低い飽和磁化 M_s である第 2 の磁性層(12)と第 2 の非磁性層(18)の各々の間に界面磁気異方性エネルギー密度 K_i を増大させる第 1 の磁性層(25)、第 3 の磁性層(17)を挿入することにより、微細な素子で書込み電流 I_{co} を抑制しながら高い熱安定性を得ることができる磁気抵抗効果素子を提供することができる。

なお、図 1 と図 4 について整合性のある説明をするために、「第 1 、第 2 ・・・」等の記載を共通して用いている。

[0026] ここで、図 1 (a) に示す本願発明の磁気抵抗効果素子には以下のような特徴がある。

[0027] 第 1 の非磁性層(13)上に前記第 1 の非磁性層(13)に接する界面で界面磁気異方性エネルギー密度(K_i)を増大させる機能を有する第 1 の磁性層(25)と前記第 1 の磁性層(25)の飽和磁化(M_s)よりも低い飽和磁化である第 2 の磁性層(12)を備えた積層構造を有することを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

詳細には、図 1 (a) に示すとおり、第 1 の磁性層 (25) は第 1 の非磁性層 (13) と第 2 の磁性層 (12) の間に設けられる。

[0028] 前記第 2 の磁性層 (12) の膜厚の、前記第 1 の磁性層 (25) の膜厚に対する比が 1 以上であることを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0029] 前記第 2 の磁性層 (12) の磁性元素の原子分率の総和の、前記第 1 の磁性層 (25) の磁性元素の原子分率の総和に対する比が 1 よりも小さい磁気抵抗効果素子である。

より詳細に説明すれば、磁性元素の原子分率 (at %) の総和とは、金属組成物全体に対する、金属組成物に含まれる磁性元素の原子分率の合計である。上記例では、第 2 の磁性層 (12) に含まれる磁性元素の割合が、第 1 の磁性層 (25) に含まれる磁性元素の割合より少ないことを示す。

[0030] 前記磁性元素は、Co, Fe, Ni のうち少なくとも一つを含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0031] 前記第 1 の磁性層 (25) は、V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Pt などの非磁性元素を含まない及び前記第 2 の磁性層 (12) は V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Pt などの非磁性元素を含む、または、前記第 1 及び第 2 の磁性層 (25, 12) は V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Pt などの非磁性元素を含み、前記第 1 の磁性層 (25) の V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Pt などの非磁性元素組成の、前記第 2 の磁性層 (12) の V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Pt などの非磁性元素組成に対する比が 1 よりも小さいことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0032] 一例としては、前記第 1 の磁性層 (25) は、ボロン (B) を含まない及び前記第 2 の磁性層 (12) はボロン (B) を含む、または、前記第 1 の磁性層 (25) のボロン (B) 組成の、前記第 2 の磁性層 (12) のボロン (B) の組成に対する比が 1 よりも小さいことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

。

他の例としては、前記第1の磁性層(25)は、バナジウム(V)を含まない及び前記第2の磁性層(12)はバナジウム(V)を含む、または、前記第1の磁性層(25)のバナジウム(V)組成の、前記第2の磁性層(12)のバナジウム(V)の組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0033] 第1の磁性層(25)及び第2の磁性層(12)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されることが好ましい。

[0034] また、図1(b)に示す2層の非磁性層を有する構造の場合には以下のような特徴がある。

[0035] 第1の非磁性層(13)と第2の非磁性層(18)の間に記録層(19)を有する磁気抵抗効果素子において、前記記録層(19)は、前記第1の非磁性層(13)、前記第2の非磁性層(18)に接する界面磁気異方性エネルギー密度(K_i)を増大させる機能を有する第1の磁性層(25)、第3の磁性層(17)と、前記第1の磁性層(25)、前記第3の磁性層(17)の飽和磁化(M_s)よりも低い飽和磁化である前記第2の磁性層(12)を備えた積層構造を有することを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

詳細には、図1(b)に示すとおり、第2の磁性層(12)は第1の磁性層(25)と第3の磁性層(17)の間に設けられる。

[0036] 前記第2の磁性層(12)の膜厚の、前記第1の磁性層(25)の膜厚に対する比が1以上、かつ前記第2の磁性層(12)の膜厚の、前記第3の磁性層(17)の膜厚に対する比が1以上であることを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0037] 前記第2の磁性層(12)の磁性元素の原子分率の総和の、前記第1の磁性層(25)の磁性元素の原子分率の総和に対する比が1よりも小さく、前記第2の磁性層(12)の磁性原子分率の総和の、前記第3の磁性層(17)の磁性元素の原子分率の総和に対する比が1よりも小さいことを特徴とす

る磁気抵抗効果素子である。

[0038] 前記磁性元素は、C o、F e、N iのうち少なくとも一つを含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0039] 前記第1の磁性層(25)と前記第3の磁性層(17)は、V、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素を含まない及び前記第2の磁性層(12)はV、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素を含む、または、前記第1、第2及び第3の磁性層(25, 12, 17)はV、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素を含み、前記第1の磁性層(25)のV、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素組成の、前記第2の磁性層(12)のV、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素組成に対する比が1よりも小さいこと、前記第3の磁性層(17)のV、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素組成の、前記第2の磁性層(12)のV、T i、C r、Z r、N b、M o、H f、T a、W、S i、A l、B、P d、P tなどの非磁性元素組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0040] 一例としては、前記第1の磁性層(25)と前記第3の磁性層(17)はボロン(B)を含まない及び前記第2の磁性層(12)はボロン(B)を含む、もしくは、前記第1の磁性層(25)のボロン(B)の組成の、前記第2の磁性層(12)のボロン(B)の組成に対する比が1よりも小さいこと、前記第3の磁性層(17)のボロン(B)の組成の、前記第2の磁性層(12)のボロン(B)の組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

他の例としては、前記第1の磁性層(25)と前記第3の磁性層(17)はバナジウム(V)を含まない及び前記第2の磁性層(12)はバナジウム(

V)を含む、もしくは、前記第1の磁性層(25)のバナジウム(V)の組成の、前記第2の磁性層(12)のバナジウム(V)の組成に対する比が1よりも小さいこと、前記第3の磁性層(17)のバナジウム(V)の組成の、前記第2の磁性層(12)のバナジウム(V)の組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする磁気抵抗効果素子である。

[0041] ここで、第1の非磁性層(13)、第2の非磁性層(18)は、例えば、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 TiO 、 Hf_2O などの酸素を含む化合物を有する材料など、第1の磁性層(25)および第3の磁性層(17)の材料との組み合わせで、磁気抵抗変化率が大きく発現する材料から構成されることが好ましい。また、第1の非磁性層(13)、第2の非磁性層(18)のいずれか一方は、Ta、W、Hf、Zr、Nb、Mo、Ti、V、Crの内のいずれか一つを含む材料で構成されていてもよい。

[0042] 第1の磁性層(25)、第2の磁性層(12)、第3の磁性層(17)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されることが好ましい。

[0043] 第1の非磁性層(13)及び第2の非磁性層(18)を構成する MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 TiO 、 Hf_2O などの酸素を含む化合物の界面は(001)配向であり、V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Ptなどの非磁性元素の組成比が低下した第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)材料との界面の格子整合が起こりやすくなる。これにより、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i を増大させることができる。

[0044] また、本発明に係る磁気メモリは、互いに平行に配置された複数のソース線と、前記ソース線と交差する方向に、互いに平行に配置された複数のワード線と、前記ソース線に平行に配置された複数のビット線と、ゲート電極が前記ワード線に電氣的に接続され、ソース電極が前記ソース線に電氣的に接続された選択トランジスタと、前記ビット線と前記ワード線とが交差する部分に配置され、前記第1の磁性層および前記第2の磁性層のいずれか一方が

前記選択トランジスタのドレイン電極に電氣的に接続され、他方が前記ビット線に電氣的に接続された本発明に係る磁気抵抗効果素子を備え、前記厚さ方向に沿って前記磁気抵抗効果素子に電流を印加可能に構成されていることを特徴とする。

[0045] 本発明に係る磁気メモリは、本発明に係る磁気抵抗効果素子を有しているため、熱安定性指数70以上の熱安定性を得ることができる。

発明の効果

[0046] 本発明によれば、微細な接合サイズであってもダンピング定数 α の上昇を抑制し、かつ高い熱安定性を有する磁気抵抗効果素子および磁気メモリを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0047] [図1]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の記録層を示す縦断面図である。

[図2]磁気抵抗効果素子の（a） M_s -B含有比率特性、（b） K_i -B含有比率特性を示すグラフである。

[図3]熱安定性指数 $E/k_B T$ と飽和磁化 M_s の関係を示すグラフである。

[図4]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の第1及び第2の実施例を示す縦断面図である。

[図5]本発明の実施形態の磁気抵抗効果素子の熱安定性と界面磁気異方性エネルギー密度 K_i 特性の関係を示すシミュレーションによる第1のグラフである。

[図6]本発明の実施形態の磁気抵抗効果素子の熱安定性と界面磁気異方性エネルギー密度 K_i 特性の関係を示すシミュレーションによる第2のグラフである

[図7]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の第3の実施例を示す縦断面図である。

[図8]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の第4の実施例を示す縦断面図である。

[図9]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の第5の実施例を示す縦断面図

である。

[図10]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の第6の実施例を示す縦断面図である。

[図11]本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子の第7の実施例を示す縦断面図である。

[図12]本発明の実施の形態の磁気メモリを示す回路ブロック図である。

[図13]本発明の第2の実施例の磁気抵抗効果素子の（a）Fe層膜厚と界面磁気異方性エネルギー密度 K_i 特性、（b）Fe層膜厚とダンピング定数 α 特性の関係を示すグラフである。

[図14]従来の磁気抵抗効果素子を有する磁気メモリの磁気メモリセルを示す回路図である。

[図15]（a）従来の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子を示す縦断面図、（b）他の第1の従来の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子を示す縦断面図、（c）他の第2の従来の垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子を示す縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0048] 以下、図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。

[0049] （第1の実施例）

図4は、本発明の実施の形態の一つとして、2つの非磁性層を有する構造の磁気抵抗効果素子を示している。

図4に示すように、磁気抵抗効果素子（10）は、下部非磁性電極（14）、第1の参照層（24）、第1の非磁性層（13）、第1の記録層（19）、第2の非磁性層（18）、上部非磁性電極（15）という積層構造を有している。ここで、第1の非磁性層（13）は磁気抵抗効果素子の障壁層（トンネル接合層）であり、第2の非磁性層（18）は保護層である。

第1の参照層（24）は、第8の磁性層（22）、第5の非磁性層（23）、第7の磁性層（20）、第4の非磁性層（21）、第6の磁性層（11）の積層構造からなる。また、第1の記録層（19）は、第1の磁性層（2

5)、第2の磁性層(12)、第3の磁性層(17)の積層構造からなる。

[0050] (下部非磁性電極14)

下部非磁性電極(14)は、第8の磁性層(22)の、第5の非磁性層(23)が接する端面とは反対側の端面に接続されている。具体的には、Sub/Ta(5nm)/Ru(5nm)/Ta(10nm)/Pt(5nm)という積層構造を用いた。

[0051] (第7の磁性層20、第8の磁性層22)

第7の磁性層(20)および第8の磁性層(22)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されている。なお、第7の磁性層(20)および第8の磁性層(22)は、垂直磁化容易軸を有する合金膜や多層膜から成っていてもよく、全ての膜厚を接合サイズよりも大きくして、形状磁気異方性により垂直磁化容易軸を付与した合金膜や多層膜から成っていてもよい。具体的には、第8の磁性層22として[Co(0.5nm)/Pt(0.3nm)]×6.5層、第7の磁性層(20)として[Co(0.5nm)/Pt(0.3nm)]×2.5層の構造を用いた。

[0052] (第5の非磁性層23)

第5の非磁性層23は、Ru、Rh、Ir、Cr、Cuなどの内のいずれか一つを含む材料で構成されている。なお、第5の非磁性層23は、第7の磁性層20の磁化と第8の磁性層22の磁化とが反平行になる場合、必ずしもこのような材料で構成される必要はない。具体的には、Ru(0.4nm)を用いた。

[0053] (第4の非磁性層21)

第4の非磁性層(21)は、隣接する第7の磁性層(20)と第6の磁性層(11)とを磁氣的に結合するとともに、第4の非磁性層(21)は、Ta、W、Hf、Zr、Nb、Mo、Ti、V、Crなどの内のいずれか一つを含む材料で構成されている。第7の磁性層(20)と第6の磁性層(11)とが磁氣的に結合されている限り、必ずしもこのような材料で構成される

必要はない。具体的には、Ta (0.3 nm) を用いた。

[0054] (第6の磁性層11)

第6の磁性層(11)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されている。具体的には、CoFeB (1.2 nm) を用いた。

[0055] (第1の非磁性層13、第2の非磁性層18)

第1の非磁性層(13)は、両端面がそれぞれ第6の磁性層(11)と第1の磁性層(25)とに接合されている。また、第2の非磁性層(18)は、両端面がそれぞれ第3の磁性層(17)と上部非磁性電極(15)とに接合されている。

第1の非磁性層(13)及び第2の非磁性層(18)は、第6の磁性層(11)および第1の磁性層(25)の材料との組み合わせで磁気抵抗変化率が大きく発現するよう、MgO、Al₂O₃、SiO₂、TiO、Hf₂Oなどの酸素を含む化合物を有する材料で構成されている。具体的には、第1の非磁性層(13)及び第2の非磁性層(18)は、MgO (1.2 nm) を用いた。また、第1の非磁性層(13)をMgO (1.2 nm)、第2の非磁性層(18)をMgO (1.0 nm) とし、膜厚に差をつけてもよい。

[0056] (第3の磁性層17、第1の磁性層25)

第3の磁性層(17)と第1の磁性層(25)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されることが好ましい。また、第3の磁性層(17)と第1の磁性層(25)はBを含まない及び第2の磁性層(12)はBを含む、または第3の磁性層(17)のボロン(B)の組成、第2の磁性層(12)のボロン(B)の組成に対する比が1よりも小さく、かつ第1の磁性層(25)のボロン(B)の組成、第2の磁性層(12)のボロン(B)の組成に対する比が1よりも小さい。

具体的には、第3の磁性層(17)及び第1の磁性層(25)としてCoFe (0.4 nm～1 nm) を用いた。

[0057] (第2の磁性層12)

第2の磁性層(12)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含んだ材料で構成されている。また、 K_{eff} tの増大のために界面以外は飽和磁化 M_s の低い材料を適用する。具体的には、CoFeB(0.4nm~5nm)を用いた。CoFeBを5nm以上にすることもできる。

[0058] (上部非磁性電極15)

上部非磁性電極(15)は、第2の非磁性層(18)の、第1の記録層(19)が接する端面とは反対側の端面に接続されている。具体的には、Ta(5nm)を用いた。また、Ta(5nm)/Ru(5nm)、もしくはRu(1~5nm)、もしくはPt(1~5nm)、CoFeB(0.2~1.5nm)/Ta(5nm)などを用いてもよい。

[0059] 次に、本発明の第1の実施例の磁気抵抗効果素子の特性について説明する。

[0060] 図5には、図4の積層構造における、第1の非磁性層(13)/第1の磁性層(25)/第2の磁性層(12)/第3の磁性層(17)/第2の非磁性層(18)に関し、具体的な材料及び膜厚としてMgO/CoFe/CoFeB/CoFe/MgO(記録層CoFe/CoFeB/CoFeの全膜厚2.6nm、 $2K_i=3.6 \text{ mJ/m}^2$)の接合サイズに対し、式(数1)と式(数2)を用い計算した熱安定性指数 $E/k_B T$ を示す。記録層の飽和磁化 M_s を1Tにするために、CoFeとCoFeBの膜厚をそれぞれ0.4nmと1.8nmとした。また、CoFeB/CoFeの膜厚比を一定にすることで記録層全体の飽和磁化 M_s は一定にすることができる。上記の例ではCoFeB/CoFeの膜厚比は4.5で、記録層全厚さは2.6nmであるが、CoFeB/CoFeの膜厚比を4.5とし記録層全厚さを2.6nm以上にすることができる。記録層が図5に示すように、非特許文献7および2重界面CoFeB/MgOで期待される $2K_i=2.6 \text{ mJ/m}^2$ を用い計算した結果よりも、記録層がMgOで挟まれたMgO/CoFe/CoFeB/CoFe/MgOが高い $E/k_B T$ が得られることがわかる。さらに、記録層がMgOで挟まれたMgO/CoFe/CoFeB/CoFe/MgOは K_{eff} tを上げるために界面の界面磁気異方性エネルギー密度 K_i のみを利用しているので、中間の低い飽和磁化 M_s であるCoFeB部分はダンピング定数 α の増大に寄与しないように膜厚や組成を設計することで、書込み電流 I_{co} の増大を

抑制できる。

以上の結果から、図4の構造を有する磁気抵抗効果素子は、微細な素子で書込み電流 I_{co} を抑制しながら高い熱安定性を得ることができる。

[0061] 図6(a)と図6(b)は20nm直径の記録層の全膜厚 t に対して式(数1)と式(数3)を用い数値計算した熱安定性指数を示した。ここで、楕円体近似で反磁界を補正している。

図6(a)は2重CoFeB/MgO界面で理想的に生じる $2K_i=2.6 \text{ mJ/m}^2$ で記録層の飽和磁化 M_s を1.0~1.5Tで変化させた時の熱安定性指数である。図6(b)は2重CoFe/MgO界面で $2K_i=3.6 \text{ mJ/m}^2$ となるCoFe/CoFeB/CoFe記録層の飽和磁化 M_s を1.0~1.5Tで変化させた時の熱安定性指数である。図6(a)および(b)において、記録層の全膜厚の増加とともに、熱安定性指数は界面磁気異方性 K_i/t の減少効果で一旦減少するが、ある記録層厚を超えると反磁界($-(N_z-N_x)M_s^2/2\mu_0$)の減少の効果で増加に転じる。同じ飽和磁化 M_s の時、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i が大きい方が熱安定性指数が高くなる。また、記録層全体の飽和磁化 M_s が減少するほど、すなわちCoFe/CoFeB/CoFe記録層の中間のCoFeBの飽和磁化 M_s を減少するほど熱安定性指数が増加する。したがって、従来型の記録層に比べCoFe/CoFeB/CoFe記録層をMgO層で挟んだ構造にすることで熱安定性の改善が図られる。

なお、図4において、第1の磁性層又は第3の磁性層がない磁気抵抗効果素子も同様に、微細な素子で書込み電流 I_{co} を抑制しながら高い熱安定性を得ることができる。

[0062] (第2の実施例)

図4の積層構造における、第1の非磁性層(13)/第1の磁性層(25)/第2の磁性層(12)/第3の磁性層(17)/第2の非磁性層(18)に関し、具体的な材料、膜厚及びB組成として、MgO/CoFeB/CoFeB/CoFeB/MgOについて、第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)のCoFeBの膜厚を0.4nm、第2の磁性層(12)のCoFeBの膜厚を1.8nmとし、第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)のB組成を0.05(=5/100)($\text{Co}_{24}\text{Fe}_{71}\text{B}_5$)、第

2の磁性層(12)のB組成を0.35(=35/100)($\text{Co}_{16}\text{Fe}_{49}\text{B}_{35}$)、第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)のB組成の第2の磁性層(12)のB組成に対する比を $0.05/0.35=0.14$ とした。第2の磁性層(12)のCoFeBの膜厚の、第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)のCoFeBの膜厚に対する比は4.5で、記録層全厚さは2.6nmである。さらに、記録層がMgOで挟まれたMgO/CoFeB/CoFeB/CoFeB/MgOは $K_{\text{eff}}t$ を上げるために界面の界面磁気異方性エネルギー密度 K_i のみを利用しているので、中間の低い飽和磁化 M_s である第1、第2及び第3の磁性層のCoFeB部分はダンピング定数 α の増大に寄与しないように膜厚や組成を設計することで、書込み電流 I_{co} の増大を抑制できる。また、記録層全体の飽和磁化 M_s が減少するほど、すなわちMgO/CoFeB/CoFeB/CoFeB/MgOの中間のCoFeBの飽和磁化 M_s を減少するほど熱安定性指数が増加する。したがって、従来型の記録層に比べCoFeB/CoFeB/CoFeB記録層をMgO層で挟んだ構造にすることで熱安定性の改善が図られる。

なお、図4において、第1の磁性層又は第3の磁性層がない磁気抵抗効果素子も同様に、微細な素子で書込み電流 I_{co} を抑制しながら高い熱安定性を得ることができる。

[0063] (第3の実施例)

図7は、本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子(10)の、第3の実施例を示している。

この第3の実施例では、第2の磁性層(12)を第4の磁性層(12-1)及び第5の磁性層(12-2)とし、第4の磁性層(12-1)と第5の磁性層(12-2)の間にBの濃度を制御するために、第3の非磁性層(16)を備えている点に特徴がある。第3の非磁性層(16)は、Bの濃度を制御することを目的としたものである。

[0064] この第3の実施例では、第3の非磁性層(16)が、第4の磁性層(12-1)及び第5の磁性層(12-2)内Bの拡散を受け止め領域として作用し、第4の磁性層(12-1)及び第5の磁性層(12-2)内のB濃度を制御する機能を果たす。例えば、第3の非磁性層(16)がTaの場合、膜厚は1nm

m以下とするのが適している。その結果、第1の磁性層(25)、第3の磁性層(17)のB濃度を下げて第1の非磁性層(13)、第2の非磁性層(18)との界面において高い界面磁気異方性エネルギー密度 K_i の形成を実現し、当該界面領域以外は低 M_s 化を図ることができる。

[0065] 図7の積層構造における、第1の非磁性層(13)/第1の磁性層(25)/第4の磁性層(12-1)/第3の非磁性層(16)/第5の磁性層(12-2)/第3の磁性層(17)/第2の非磁性層18に関し、具体的な材料、膜厚及びB組成としてMgO/CoFeB/CoFeB/Ta/CoFeB/CoFeB/MgOについて、第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)のCoFeBの膜厚を0.4nm、第4の磁性層(12-1)及び第5の磁性層(12-2)のCoFeBの膜厚を0.9nm、第3の非磁性層(16)の膜厚を0.5nmとし、第1の磁性層(25)及び第3の磁性層(17)のBの組成を $\text{Co}_{24}\text{Fe}_{71}\text{B}_5$ ($5/100=0.05$)、第4の磁性層(12-1)及び第5の磁性層(12-2)のBの組成を $\text{Co}_{16}\text{Fe}_{49}\text{B}_{35}$ ($35/100=0.35$)とした。記録層全厚さは3.1nmである。さらに、記録層がMgOで挟まれたMgO/CoFeB/CoFeB/Ta/CoFeB/CoFeB/MgOは $K_{\text{eff}t}$ を上げるために界面の界面磁気異方性エネルギー密度 K_i のみを利用しているので、中間の低い飽和磁化 M_s である第1、第3、第4及び第5の磁性層の部分はダンピング定数 α の増大に寄与しないように膜厚や組成を設計することで、書込み電流 I_{co} の増大を抑制できる。また、記録層全体の飽和磁化 M_s が減少するほど、すなわちMgO/CoFeB/CoFeB/Ta/CoFeB/CoFeB/MgOの記録層CoFeB/CoFeB/Ta/CoFeB/CoFeBの飽和磁化 M_s を減少するほど熱安定性指数が増加する。したがって、従来型の記録層に比べCoFeB/CoFeB/Ta/CoFeB/CoFeB記録層をMgO層で挟んだ構造にすることで熱安定性の改善が図られる。

[0066] (第4の実施例)

図8は、本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子(10)の、第4の実施例を示している。

この第4の実施例では、第1及び第2の実施例において、第2の参照層(32)を備えた点に特徴がある。

[0067] 第2の参照層(32)は、反平行結合参照層としての性質を有している。

前記第2の参照層(32)は第1の参照層24と各磁性層の磁化の配列状態を反対にしている。

その結果、スピン注入効率を向上させ、書込み電流 I_{co} を低減させるという顕著な効果を奏する。

[0068] (第5の実施例)

図9は、本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子(10)の、第5の実施例を示している。第5の実施例では、第4の実施例と同様に第2の参照層(32)を備えている点で共通するが、この参照層が反平行結合層でない点で相違する。

[0069] (第6の実施例)

図10は、本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子(10)の、第6の実施例を示している。第6の実施例では、本発明の第1及び第2の実施例のように第2の磁性層(12)と第3の磁性層(17)が直接接する積層構造であり、かつ第5の実施例と同様に第2の参照層(32)を備えた構造である点に特徴がある。B濃度の制御の必要性に応じて、第3の非磁性層(16)を省略することが可能である。

[0070] (第7の実施例)

図11は、本発明の実施の形態の磁気抵抗効果素子(10)の、第7の実施例を示している。第7の実施例では、第1の参照層(24)、第2の参照層(32)、第3の参照層(33)という3つの参照層を備えた積層構造とする点に特徴がある。

[0071] この第7の実施例では、3つの参照層を利用して、多値化機能を提供することができる。

[0072] (第1の実施例の変形例)

次に、本発明の第1の実施例の変形例の磁気抵抗効果素子の特性について説明する。

[0073] 本願発明の磁気メモリに応用される垂直磁気異方性磁気抵抗効果素子の、

磁性層と非磁性層の接合面に要求される特性は、高いトンネル磁気抵抗（TMR）比、低い書込み電流 I_{co} 及び高い熱安定性である。このうち、書込み電流 I_{co} はダンピング定数 α により決まり、ダンピング定数 α は0.01以下、更には0.005以下にすることが好ましい。また、例えば接合サイズ直径20 nmの磁気抵抗効果素子の接合面では、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i は2.6 mJ/m²以上必要である。

図4において、第1の非磁性層（13）及び第2の非磁性層（18）にはMgO（1.2 nm）を用い、第3の磁性層（17）及び第1の磁性層（25）にはFe（0.4 nm～1 nm）を用いた。また、第2の磁性層（12）にはFeV（0.01 nm～0.4 nm）を用いた。

[0074] 図13（a）は、図4の積層構造における、第1の非磁性層（13）／第1の磁性層（25）／第2の磁性層（12）／第3の磁性層（17）／第2の非磁性層（18）に関し、具体的な材料及び膜厚としてMgO/Fe/FeV/Fe/MgO（記録層Fe/FeV/Feの接合サイズ直径20 nm）のFe層膜厚に対する界面磁気異方性エネルギー密度 K_i 特性を示す。図13（a）より、Fe層膜厚の増加に伴い、界面磁気異方性エネルギー密度 K_i は直線的に増加することが分かった。

[0075] 図13（b）には、Fe層膜厚に対するダンピング定数 α 特性を示す。図13（b）より、Fe層膜厚の増加に伴い、ダンピング定数 α も微増しているが、接合サイズ直径20 nmの接合面で要求されるダンピング定数 α の値である0.005よりも小さな値となっていることが分かった。

[0076] 以上の結果から、図4の構造を有する第1の実施例の変形例の磁気抵抗効果素子は、ダンピング定数 α の値を抑制することによって微細な素子で書込み電流 I_{co} を抑制することができる。

[0077] さらに、第1の実施例の変形例において、FeVに代えて、B、V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、Pd、Ptなどの非磁性元素を少なくとも1つ含む磁性層を適用することができる。

[0078] さらに、第2乃至7の実施例についても、第1の実施例の変形例と同様に

、Bを含む磁性層に代えてFeVなどのVを含む磁性層、さらにはB、V、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、Pd、Ptなどの非磁性元素組成を少なくとも1つ含む磁性層を適用することができる。

[0079] さらに、上記実施例及び変形例において、第2の磁性層の飽和磁化 (M_s) が、第1の磁性層又は第1及び第3の磁性層の飽和磁化より低いという条件を満たす限りにおいて、第1乃至第5の磁性層に含まれる磁性元素又は非磁性元素を、それぞれ異なるようにすることができる。具体例としては、MgO/FeB/FeV/FeB/MgO、MgO/Fe₉₅B₅/FeV/Fe₉₀B₁₀/MgO、MgO/Co₂₄Fe₇₁B₅/FeV/Co₂₂Fe₆₈B₁₀/MgO、MgO/Co₄₇Fe₄₈B₅/FeV/Co₂₂Fe₆₈B₁₀/MgO、MgO/FeB/FeV/FeTa/MgO、MgO/(Co)FeB/FeV/(Co)FeM/MgO (MはTi、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、Pd、Ptの少なくとも1つを含み、2種以上混ぜてもよい) のような積層構造が挙げられる。

[0080] [本発明の実施の形態の磁気メモリ1]

図12は、本発明の実施の形態の磁気メモリ (MRAM) を示している。

図12に示すように、磁気メモリ (1) は、それぞれ複数から成るソース線2とワード線 (3) とビット線 (4) とメモリセル (5) とを有している。

[0081] 各ソース線 (2) は、互いに平行に配置されている。各ワード線 (3) は、各ソース線 (2) と垂直に交差する方向に、互いに平行に配置されている。各ビット線 (4) は、各ソース線 (2) に平行に、互いに平行に配置されている。各ソース線 (2) および各ビット線 (4) は、互いに平行に、横方向に交互に並んで配置されている。各ソース線 (2) および各ビット線 (4) の一端は、電圧印加のためのライトドライバ (6) およびセンス増幅器 (7) に電氣的に接続されている。各ワード線 (3) の一端は、ワードドライバ (8) に電氣的に接続されている。

[0082] 各メモリセル (5) は、各ビット線 (4) と各ワード線 (3) との各交点に配置されている。各メモリセル (5) は、選択トランジスタ (9) と磁気

抵抗効果素子（１０）とを有している。選択トランジスタ（９）は、ゲート電極がワード線（３）に電氣的に接続され、ソース電極が配線層を介してソース線（２）に電氣的に接続されている。磁気抵抗効果素子（１０）は、下部非磁性電極（１４）または上部非磁性電極（１５）を介して、第６の磁性層（１１）および第２の磁性層（１２）のいずれか一方が選択トランジスタ（９）のドレイン電極に電氣的に接続され、他方がビット線（４）に電氣的に接続されている。磁気抵抗効果素子（１０）は、図１，図４または図６～図１１のいずれか１つから成っている。磁気メモリ（１）は、厚さ方向に沿って磁気抵抗効果素子（１０）に電流を印加可能に構成されている。

[0083] 次に、作用について説明する。

「１」の書込み動作では、ライトドライバ（６）からソース線（２）に電圧を印加するとともに、ワードドライバ８からワード線（３）に電圧を印加することによって、ソース線（２）から磁気抵抗効果素子（１０）を介してビット線（４）に電流を流す。このとき、磁気抵抗効果素子（１０）の磁化方向が可変の記録層である第２の磁性層（１２）の磁化方向と、磁化方向が固定された参照層である第６の磁性層（１１）の磁化方向とが反平行状態となる。これにより、磁気抵抗効果素子（１０）は高抵抗状態となり、磁気抵抗効果素子（１０）の保持する情報は「１」となる。

[0084] 一方、「０」の書込み動作では、ライトドライバ（６）からビット線（４）に電圧を印加するとともに、ワードドライバ（８）からワード線（３）に電圧を印加することによって、ビット線（４）から磁気抵抗効果素子（１０）を介してソース線（２）に電流を流す。このとき、磁気抵抗効果素子（１０）の磁化方向が可変の記録層である第２の磁性層（１２）の磁化方向と、磁化方向が固定された参照層である第６の磁性層（１１）の磁化方向とが平行状態となる。これにより、磁気抵抗効果素子（１０）は低抵抗状態となり、磁気抵抗効果素子（１０）の保持する情報は「０」となる。

[0085] 読み出し時は、センス増幅器（７）を用いて、抵抗変化による信号の違いを読み取る。このようなメモリアレイを用いることにより、磁気抵抗変化率

が大きく、書込み電流が小さく、従来構造よりも熱安定性が高い磁気抵抗効果素子 10 を具備する磁気メモリを実現することができる。

符号の説明

- [0086]
- 1 磁気メモリ
 - 2 ソース線
 - 3 ワード線
 - 4 ビット線
 - 5 メモリセル
 - 6 ライトドライバ
 - 7 センス増幅器
 - 8 ワードドライバ
 - 9 選択トランジスタ
 - 10 磁気抵抗効果素子
 - 11 第6の磁性層
 - 12 第2の磁性層
 - 12-1 第4の磁性層
 - 12-2 第5の磁性層
 - 13 第1の非磁性層
 - 14 下部非磁性電極
 - 15 上部非磁性電極
 - 16 第3の非磁性層
 - 17 第3の磁性層
 - 18 第2の非磁性層
 - 19 第1の記録層
 - 20 第7の磁性層
 - 21 第4の非磁性層
 - 22 第8の磁性層
 - 23 第5の非磁性層

- 2 4 第 1 の参照層
- 2 5 第 1 の磁性層
- 2 7 第 9 の磁性層
- 2 8 第 1 0 の磁性層
- 2 9 第 6 の非磁性層
- 3 0 第 1 1 の磁性層
- 3 1 第 7 の非磁性層
- 3 2 第 2 の参照層
- 3 3 第 3 の参照層
- 3 4 第 2 の記録層
- 3 5 第 8 の非磁性層
- 3 6 第 9 の非磁性層
- 1 1 1 第 6 の磁性層（参照層）
- 1 1 2 第 1 の磁性層
- 1 1 3 第 1 の非磁性層
- 1 1 4 下部非磁性電極
- 1 1 5 上部非磁性電極
- 1 1 6 第 3 の非磁性層
- 1 1 7 第 3 の磁性層
- 1 1 8 第 2 の非磁性層
- 1 1 9 記録層
- 1 2 0 第 7 の磁性層
- 1 2 1 第 4 の非磁性層
- 1 2 2 第 8 の磁性層
- 1 2 3 第 5 の非磁性層
- 1 2 4 第 1 の参照層

請求の範囲

- [請求項1] 磁化方向が膜面垂直方向である第1の磁性層（25）と、
前記第1の磁性層（25）に隣接して設けられる第1の非磁性層（13）と、
前記第1の磁性層（25）の前記第1の非磁性層（13）とは反対側に隣接して設けられ、磁化方向が膜面垂直方向である第2の磁性層（12）とを備え、
前記第1の磁性層（25）は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含み、前記第1の非磁性層（13）との界面に界面磁気異方性エネルギー密度（Ki）を増大させる機能を有し、
前記第2の磁性層（12）は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含み、前記第1の磁性層（25）の飽和磁化（Ms）よりも低い飽和磁化である、磁気抵抗効果素子。
- [請求項2] 前記第2の磁性層（12）の膜厚の、前記第1の磁性層（25）の膜厚に対する比が1以上であることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項3] 前記第2の磁性層（12）の磁性元素の原子分率の総和の、前記第1の磁性層（25）の磁性元素の原子分率の総和に対する比が1よりも小さい、請求項1または請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項4] 前記第1の磁性層（25）は、前記第1の磁性層（25）のボロン（B）の組成の、前記第2の磁性層（12）のボロン（B）の組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。
- [請求項5] 前記第1の磁性層（25）は、前記第1の磁性層（25）のV、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Ptなどの非磁性元素組成の、前記第2の磁性層（12）のV、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、

Pd、Ptなどの非磁性元素組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項6] さらに、前記第2の磁性層(12)の前記第1の磁性層(25)とは反対側に隣接して設けられる磁化方向が膜面垂直方向である第3の磁性層(17)と、

前記第3の磁性層(17)の前記第2の磁性層(12)とは反対側に隣接して設けられる第2の非磁性層(18)とを備え、

前記第3の磁性層(17)は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含み、前記第2の非磁性層(18)との界面に界面磁気異方性エネルギー密度(Ki)を増大させる機能を有する、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項7] 前記第2の磁性層(12)の膜厚の、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)の膜厚に対する比が1以上であることを特徴とする、請求項6に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項8] 前記第2の磁性層(12)の磁性元素の原子分率の総和の、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)の磁性元素の原子分率の総和に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項6または請求項7記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項9] 前記第1及び第3の磁性層(25, 17)は、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)のボロン(B)の組成の、前記第2の磁性層(12)のボロン(B)の組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項6乃至8のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項10] 前記第1及び第3の磁性層(25, 17)は、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)のV、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Ptなどの非磁性元素組成の、前記第2の磁性層(12)のV、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Ptなどの非磁性元素組成に対

する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項6乃至8のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項11] 前記第2の磁性層(12)は、第4及び第5の磁性層(12-1, 12-2)と、第4及び第5の磁性層の間に第3の非磁性層(16)と、を備えた積層構造を有し、

前記第4及び第5の磁性層(12-1, 12-2)の磁性元素は、Co、Fe、Ni、Mnなどの3d強磁性遷移金属元素を少なくとも一つ含むことを特徴とする、請求項6に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項12] 前記第4及び第5の磁性層(12-1, 12-2)の膜厚の、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)の膜厚に対する比が1以上であることを特徴とする、請求項11に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項13] 前記第4及び第5の磁性層(12-1, 12-2)の磁性元素の原子分率の総和の、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)の磁性元素の原子分率の総和に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項11または請求項12に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項14] 前記第1及び第3の磁性層(25, 17)は、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)のボロン(B)の組成の、前記第4及び第5の磁性層(12-1, 12-2)のボロン(B)の組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項11乃至13のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項15] 前記第1及び第3の磁性層(25, 17)は、前記第1及び第3の磁性層(25, 17)のV、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Ptなどの非磁性元素組成の、前記第4及び第5の磁性層(12-1, 12-2)のV、Ti、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Si、Al、B、Pd、Ptなどの非磁性元素組成に対する比が1よりも小さいことを特徴とする、請求項11乃至13のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項16] 前記第3の非磁性層(16)の膜厚は1nm以下である、請求項1

1 乃至 1 5 のいずれか一項に記載されたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

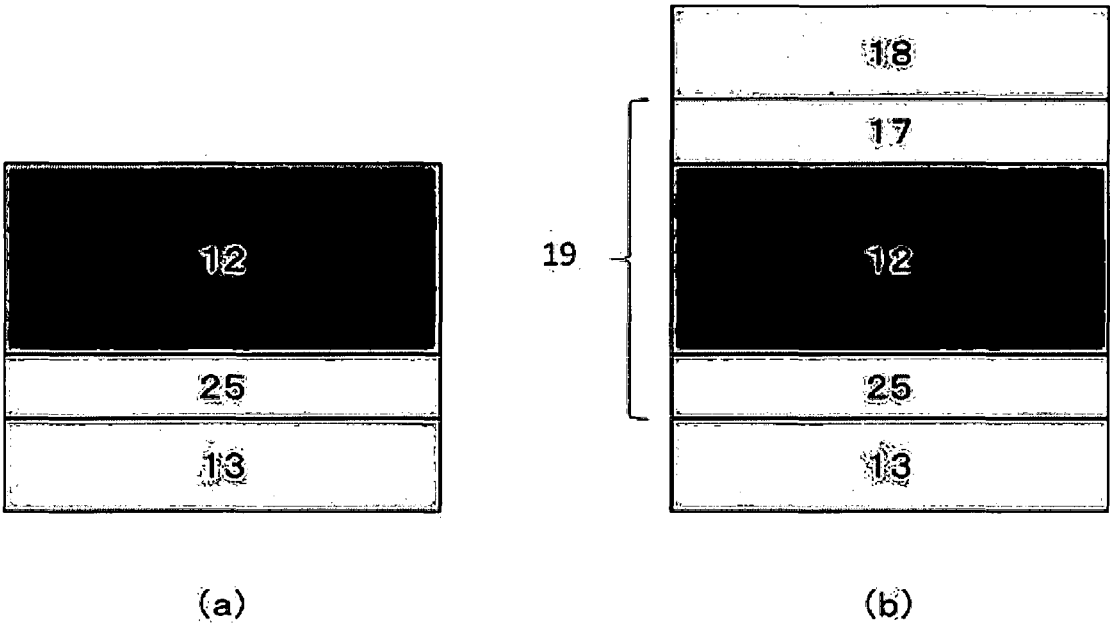
[請求項17] 2つの参照層（2 4， 3 2）を備えたことを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 1 6 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項18] 前記 2 つの参照層（2 4， 3 2）のうち 1 つの参照層は、反平行結合参照層であることを特徴とする、請求項 1 7 に記載の磁気抵抗効果素子。

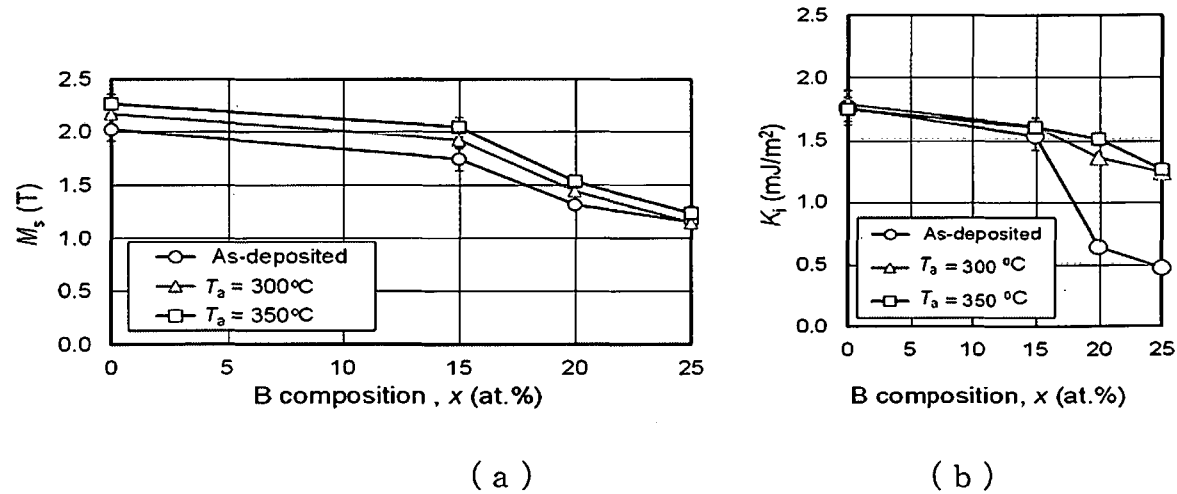
[請求項19] 2つの記録層（1 9， 3 4）と 3 つの参照層（2 4， 3 2， 3 3）を備えたことを特徴とする、請求項 1 乃至 1 6 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

[請求項20] 請求項 1 乃至請求項 1 9 のいずれか一項に記載された磁気抵抗効果素子をメモリセルとする磁気メモリ。

[図 1]

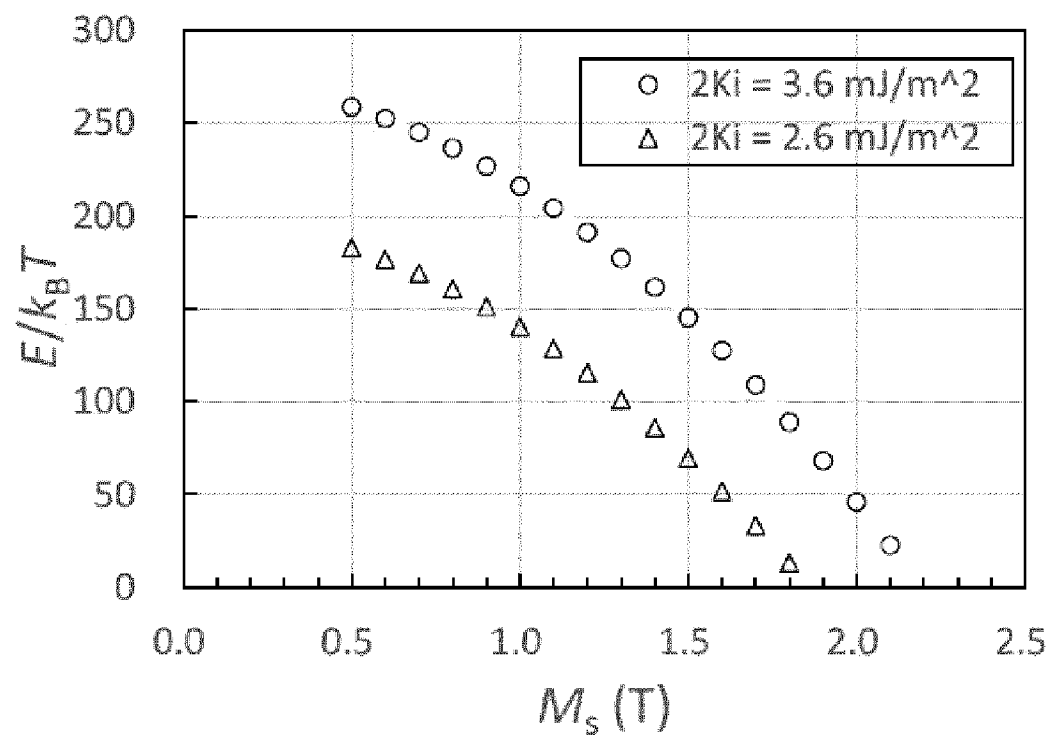


[図 2]

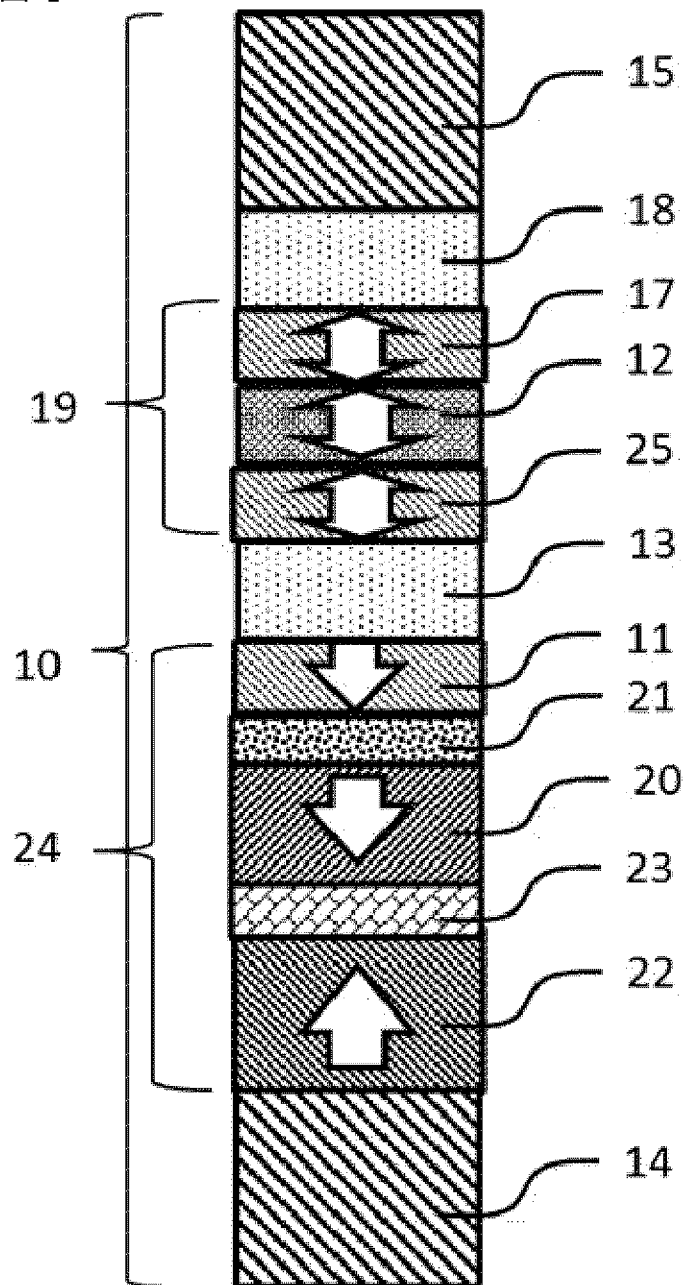


Sub./Ta(5)/MgO(1.0)/(Co_{0.25}Fe_{0.75})_{100-x}B_x(t)/Ta(5)/Ru(5)

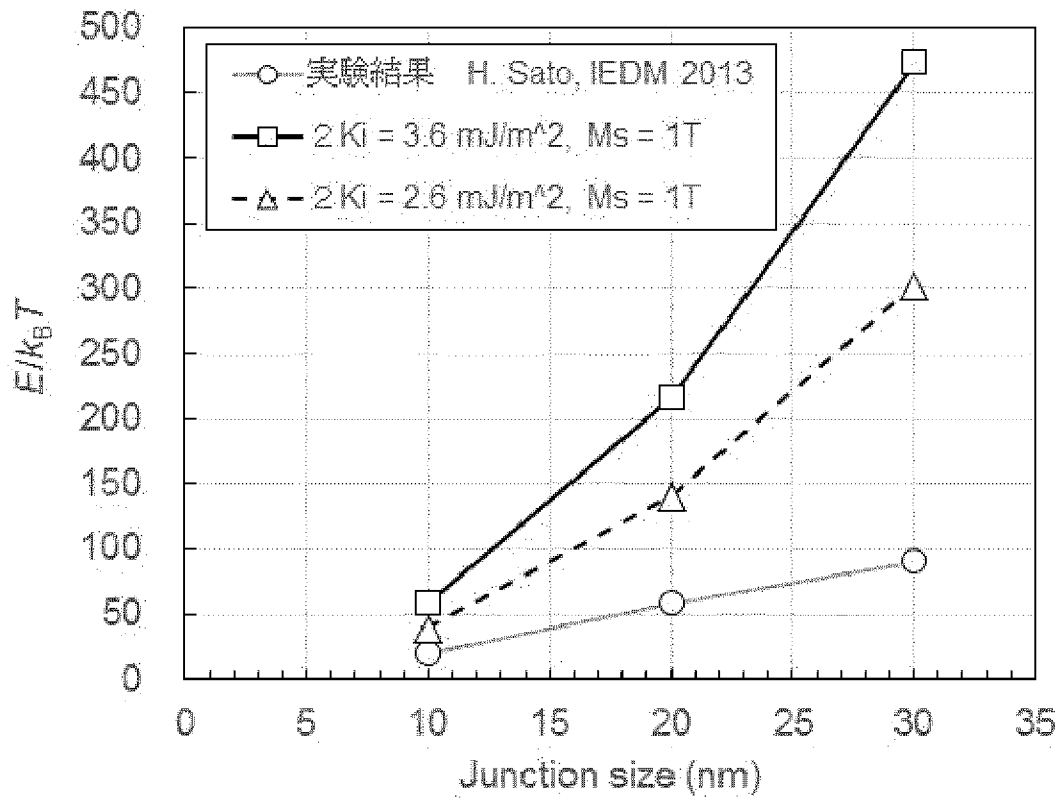
[図3]



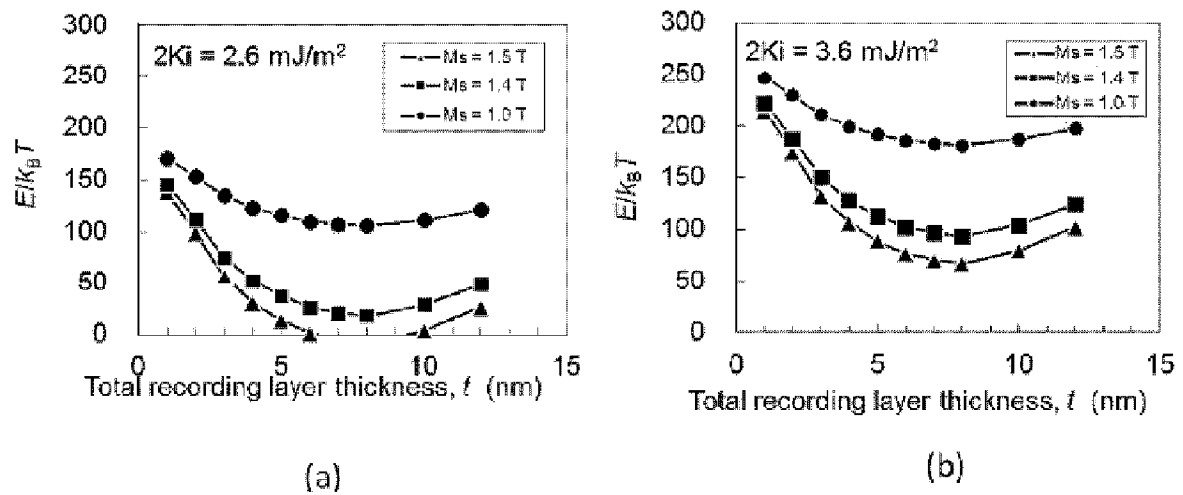
[図4]



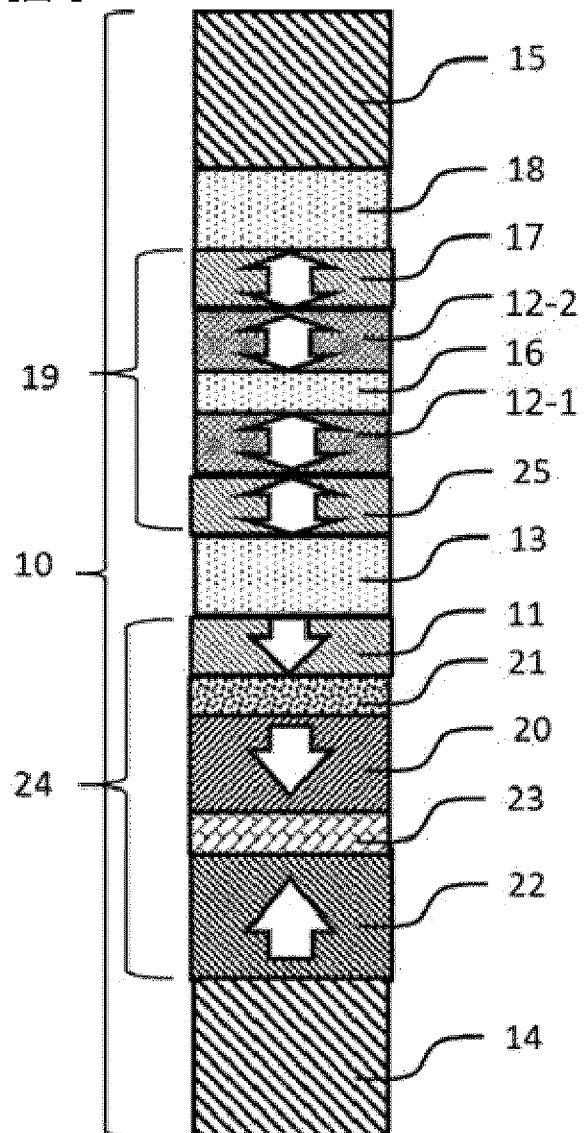
[図5]



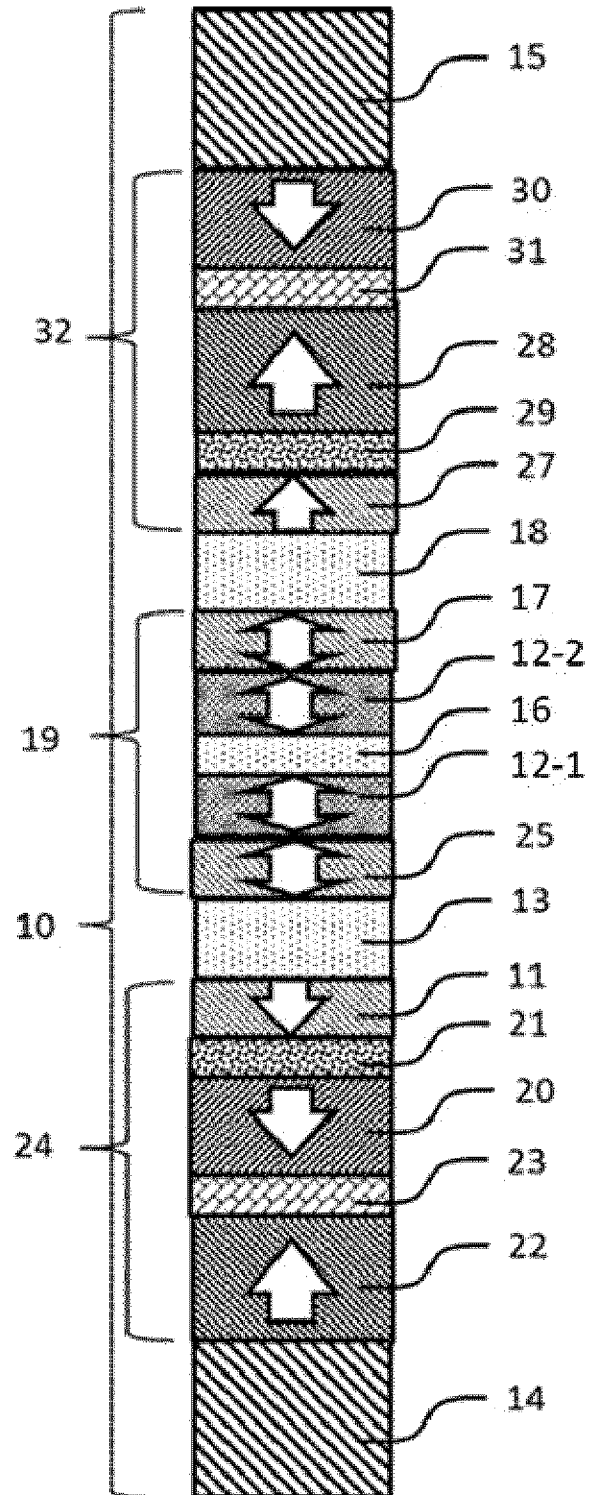
[図6]



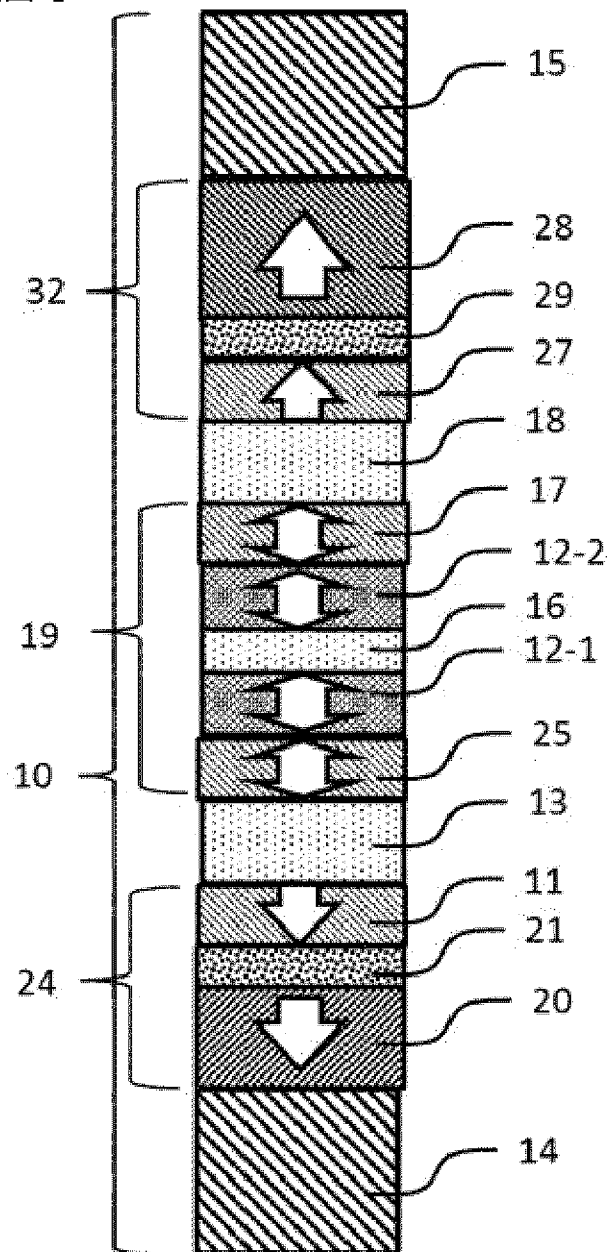
[図7]



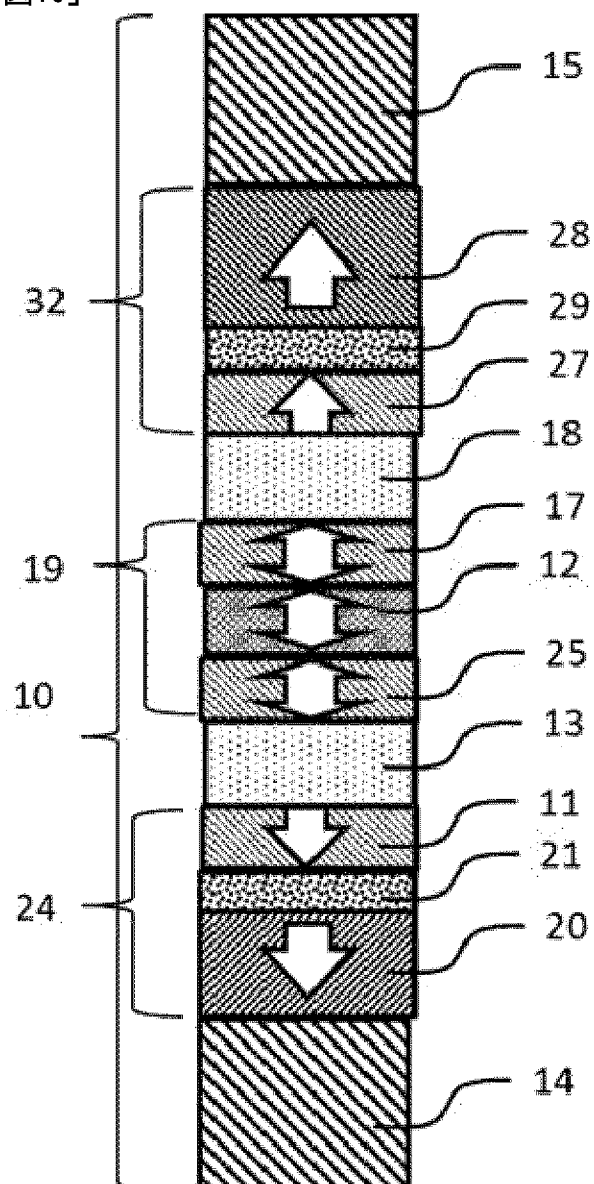
[図8]



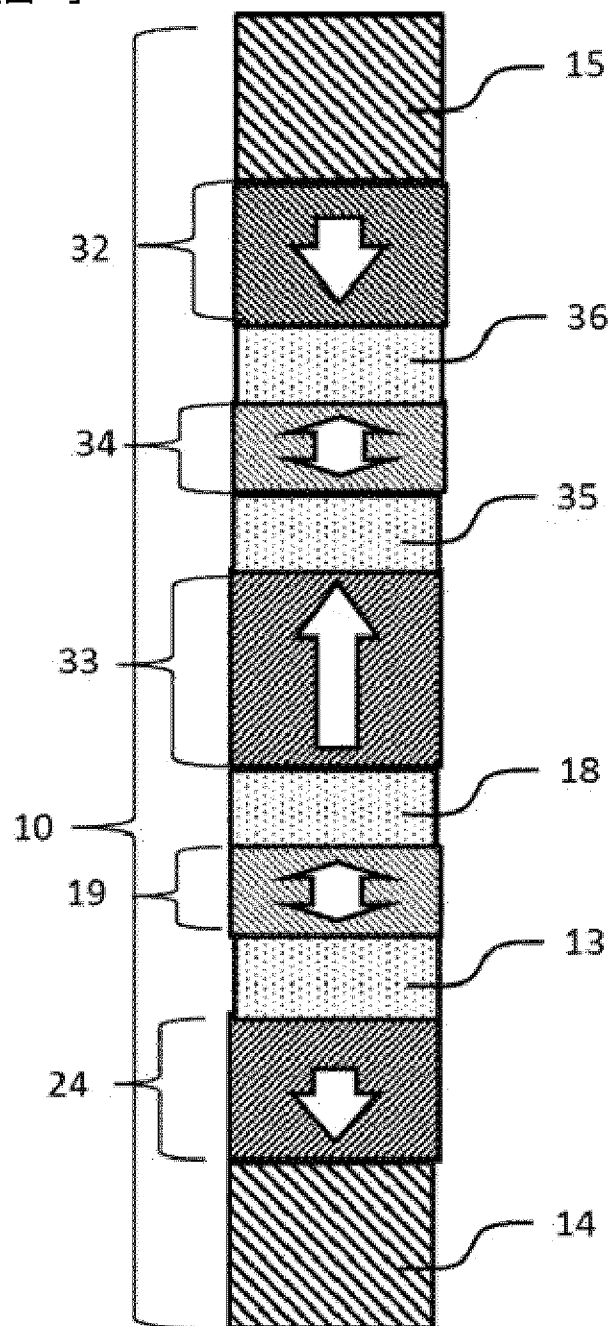
[図9]



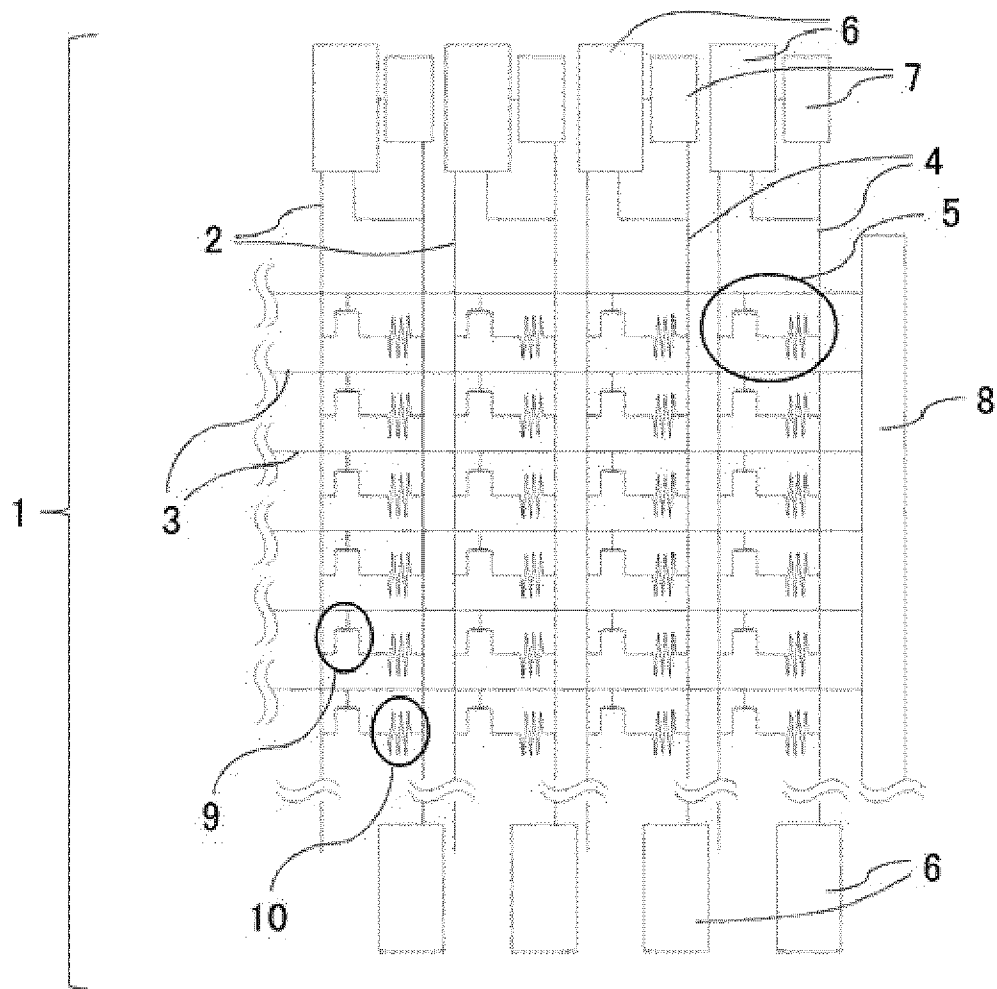
[図10]



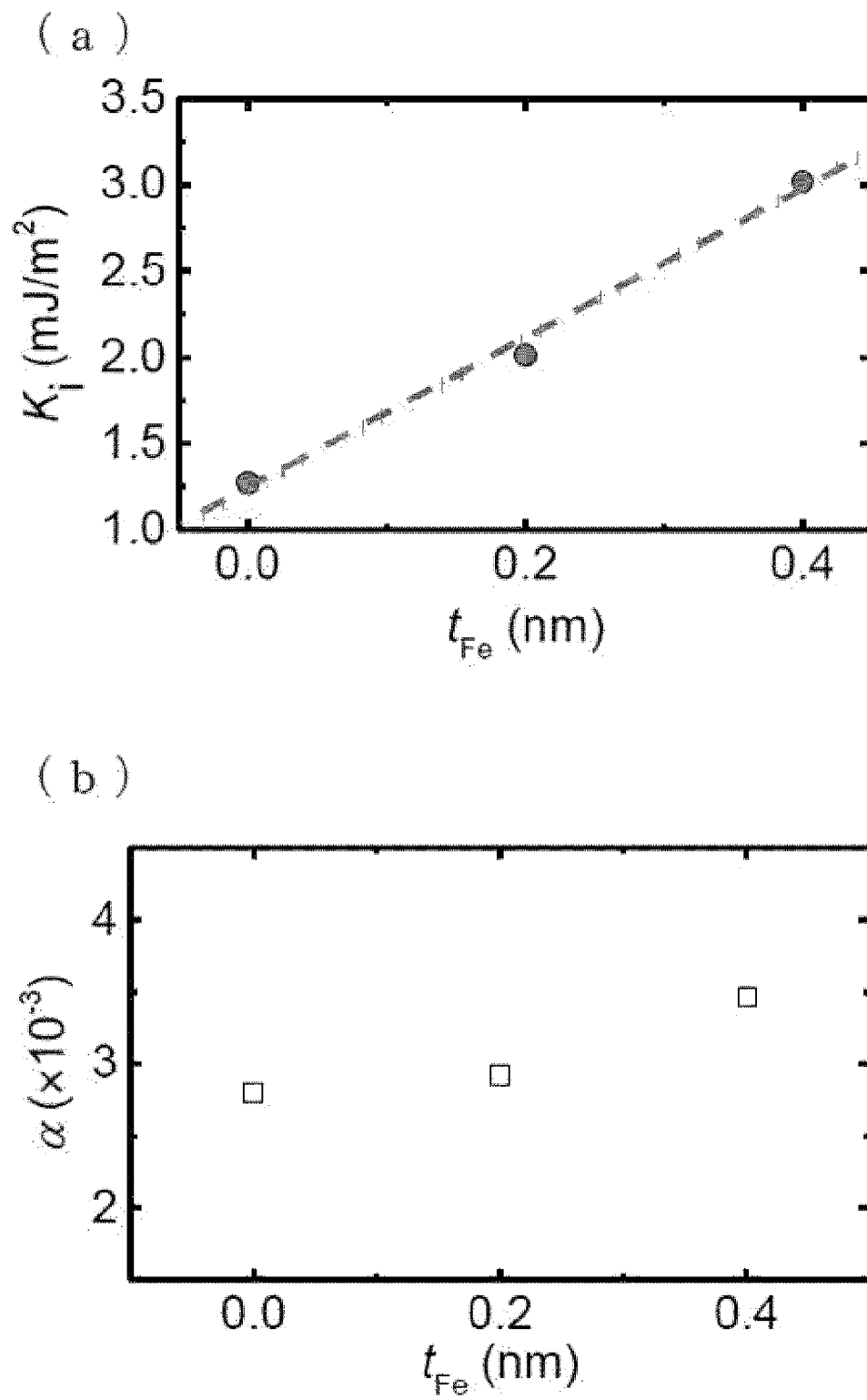
[図11]



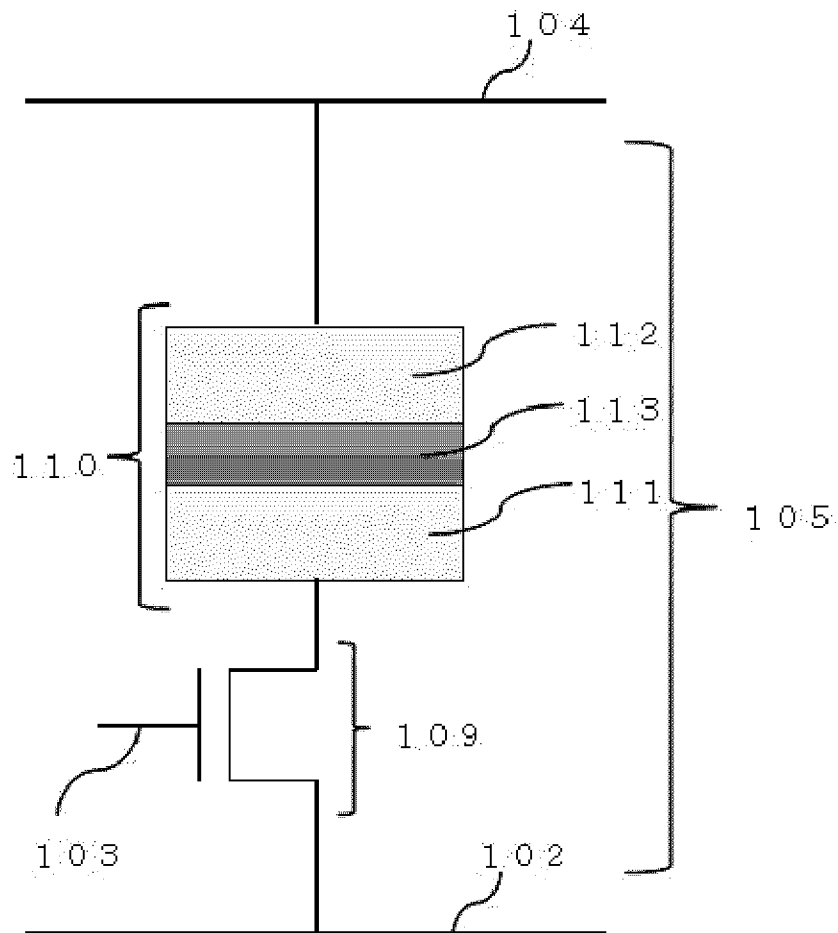
[図12]



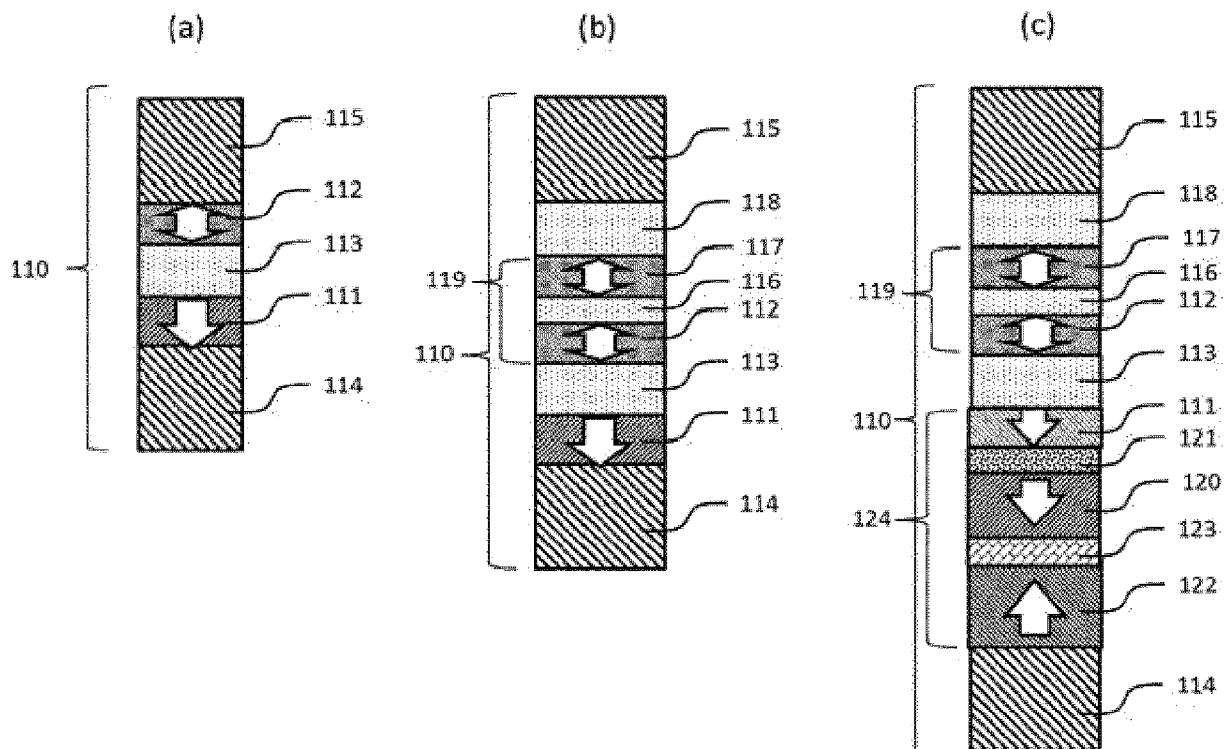
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/070850

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/8246(2006.01)i, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i,
H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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, H01F10/16, H01F10/32, H01L27/105, H01L29/82, 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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 A	JP 2014-63886 A (Toshiba Corp., Tohoku University), 10 April 2014 (10.04.2014), paragraphs [0012] to [0017], [0024] to [0025], [0039] to [0044], [0048], [0073], [0076], [0081] to [0082], [0084]; fig. 3, 13, 14 & US 2014/0084401 A1 paragraphs [0028] to [0033], [0040] to [0041], [0056] to [0060], [0064], [0089], [0092], [0097] to [0098], [0100]; fig. 3, 13, 14 & US 8878324 B2 & US 8680633 B1	1 2-11, 14, 15, 17-20 12, 13, 16

☒ 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
29 August 2016 (29.08.16)

Date of mailing of the international search report
06 September 2016 (06.09.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/070850

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2008-28362 A (Toshiba Corp.), 07 February 2008 (07.02.2008), paragraphs [0001], [0016], [0030] to [0031], [0034], [0037] to [0039], [0073] to [0074], [0086]; fig. 3, 4, 6 & US 2007/0297220 A1 paragraphs [0003], [0033], [0030] to [0031], [0034], [0047] to [0048], [0090] to [0091], [0104]; fig. 3, 4, 6 & KR 2007/0121504 A & CN 101093721 A	2-11, 14, 15, 17-20 1, 12, 13, 16
Y A	JP 2013-115400 A (Sony Corp.), 10 June 2013 (10.06.2013), paragraphs [0001], [0080] to [0082]; fig. 5 & US 2013/0141964 A1 paragraphs [0001], [0177] to [0183]; fig. 5 & US 2014/0169087 A1 & US 2015/0303375 A1 & CN 103137855 A	11, 14, 15, 17-20 1-10, 12, 13, 16
Y A	JP 2007-504651 A (Grandis, Inc.), 01 March 2007 (01.03.2007), paragraph [0039]; fig. 5A & US 2005/0045913 A1 paragraph [0054]; fig. 5A & WO 2005/020242 A2 & EP 1658614 B1 & DE 602004015803 D & KR 2006/0087525 A & CN 1842874 A	19, 20 1-18
A	JP 2008-252018 A (Toshiba Corp.), 16 October 2008 (16.10.2008), entire text; all drawings & US 2008/0253174 A1 entire text; all drawings & KR 2008/0089189 A & CN 101308901 A & CN 102176510 A	1-20
A	JP 2009-239120 A (Toshiba Corp.), 15 October 2009 (15.10.2009), entire text; all drawings & US 2009/0243008 A1 entire text; all drawings & CN 101546807 A & KR 2009/0103747 A	1-20

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, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/32(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L29/82(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, H01F10/16, H01F10/32, H01L27/105, H01L29/82, 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 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 6 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 2014-63886 A（株式会社東芝、国立大学法人東北大学） 2014.04.10, 段落[0012] - [0017], [0024] - [0025], [0039] -	1
Y	[0044], [0048], [0073], [0076], [0081] - [0082], [0084], 図 3, 13, 14	2-11, 14, 15, 17-20
A	& US 2014/0084401 A1, 段落[0028] - [0033], [0040] - [0041], [0056] - [0060], [0064], [0089], [0092], [0097] - [0098], [0100], 図 3, 13, 14 & US 8878324 B2 & US 8680633 B1	12, 13, 16

☑ 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

2 9 . 0 8 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

0 6 . 0 9 . 2 0 1 6

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）

小山 満

5 F

6 3 1 3

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

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 2008-28362 A (株式会社東芝) 2008.02.07, 段落[0001], [0016], [0030] - [0031], [0034], [0037] - [0039], [0073] - [0074], [0086], 図 3, 4, 6	2-11, 14, 15, 17-20
A	& US 2007/0297220 A1, 段落[0003], [0033], [0030] - [0031], [0034], [0047] - [0048], [0090] - [0091], [0104], 図 3, 4, 6 & KR 2007/0121504 A & CN 101093721 A	1, 12, 13, 16
Y	JP 2013-115400 A (ソニー株式会社) 2013.06.10, 段落[0001], [0080] - [0082], 図 5	11, 14, 15, 17-20
A	& US 2013/0141964 A1, 段落[0001], [0177] - [0183], 図 5 & US 2014/0169087 A1 & US 2015/0303375 A1 & CN 103137855 A	1-10, 12, 13, 16
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[0039], 図 5A	19, 20
A	& US 2005/0045913 A1, 段落[0054], 図 5A & WO 2005/020242 A2 & EP 1658614 B1 & DE 602004015803 D & KR 2006/0087525 A & CN 1842874 A	1-18
A	JP 2008-252018 A (株式会社東芝) 2008.10.16, 全文, 全図 & US 2008/0253174 A1, 全文, 全図 & KR 2008/0089189 A & CN 101308901 A & CN 102176510 A	1-20
A	JP 2009-239120 A (株式会社東芝) 2009.10.15, 全文, 全図 & US 2009/0243008 A1, 全文, 全図 & CN 101546807 A & KR 2009/0103747 A	1-20