

(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



(10) 国際公開番号

WO 2011/121777 A1

PCT

(43) 国際公開日
2011 年 10 月 6 日(06.10.2011)

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/055938
- (22) 国際出願日: 2010 年 3 月 31 日(31.03.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 永瀬 俊彦 (NAGASE, Toshihiko) [JP/JP]. 甲斐 正 (KAI, Tadashi) [JP/JP]. 西山 勝哉 (NISHIYAMA, Katsuya) [JP/JP]. 北川 英二 (KITAGAWA, Eiji) [JP/JP]. 大坊 忠臣 (DAIBOU, Tadaomi) [JP/JP]. 中山 昌彦 (NAKAYAMA, Masahiko) [JP/JP]. 長嶺 真 (NAGAMINE, Makoto) [JP/JP]. 深津 茂人 (FUKATSU, Shigeto) [JP/JP]. 吉川 将寿 (YOSHIKAWA, Masatoshi) [JP/JP]. 與田 博明 (YODA, Hiroaki) [JP/JP].
- (74) 代理人: 鈴江 武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門 1 丁目 1 2 番 9 号 鈴榮特許総合事務所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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:

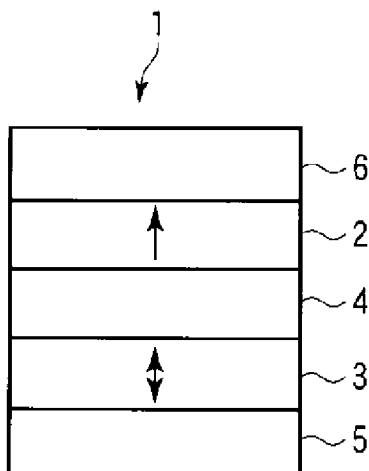
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

[続葉有]

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気抵抗素子及び磁気メモリ

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a magnetoresistive element comprising: a first magnetic layer (3) which has an easy axis of magnetization in a direction perpendicular to a film surface and of which the direction of magnetization is variable; a second magnetic layer (2) which has an easy axis of magnetization in a direction perpendicular to the film surface and of which the direction of magnetization remains unchanged; and a first non-magnetic layer (4) which is arranged between the first magnetic layer (3) and the second magnetic layer (2). The first magnetic layer (3) has such a structure that at least a first ferromagnetic material and a second ferromagnetic material are laminated on each other. The direction of magnetization of the first magnetic layer (3) can vary in accordance with a current which passes through the first magnetic layer (3), the first non-magnetic layer (4) and the second magnetic layer (2). The perpendicular magnetic anisotropy of the second ferromagnetic material is smaller than that of the first ferromagnetic material. The first ferromagnetic material has a smaller thickness than that of the second ferromagnetic material.

(57) 要約: 本発明の磁気抵抗素子は、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第1磁性層(3)と、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が不変の第2磁性層(2)と、第1磁性層(3)と第2磁性層(2)との間に設けられる第1非磁性層(4)とを備える。第1磁性層(3)は、少なくとも第1強磁性材料と第2強磁性材料とが積層された構造を有する。第1磁性層(3)の磁化方向は、第1磁性層(3)、第1非磁性層(4)及び第2磁性層(2)を貫く電流により変化する。第2強磁性材料の

垂直磁気異方性は、第1強磁性材料の垂直磁気異方性より小さい。第1強磁性材料の膜厚は、第2強磁性材料の膜厚より薄い。

WO 2011/121777 A1



— 補正された請求の範囲（条約第 19 条(1)）

明 細 書

発明の名称 : 磁気抵抗素子及び磁気メモリ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗素子及び磁気メモリに関する。

背景技術

[0002] 近年、高速読み書き、大容量、低消費電力動作も可能な次世代の固体不揮発メモリとして、強磁性体の磁気抵抗効果を利用した磁気ランダムアクセスメモリ (Magnetic Random Access Memory : 以下、MRAMと記す) への関心が高まっている。特に、強磁性トンネル接合を有する磁気抵抗素子は、大きな磁気抵抗変化率を示すことが見いだされて以来、注目されている。

[0003] 強磁性トンネル接合は、磁化方向が可変な記憶層と、絶縁体層と、記憶層と対向し、所定の磁化方向を維持する固定層との三層積層構造が基本となる。この強磁性トンネル接合に電流を流すと、絶縁体層をトンネルして電流が流れる。このとき、接合部の抵抗は、記憶層と固定層の磁化方向の相対角により変化し、磁化方向が平行のとき極小値を、反平行のとき極大値をとる。

[0004] この抵抗変化はトンネル磁気抵抗効果 (Tunneling Magneto-Resistance effect : 以下、TMR効果と記す) と呼ばれ、実際に一つの記憶セルとして強磁性トンネル接合を有する磁気抵抗素子を用いる場合には、記憶層と固定層との磁化の平行、反平行状態 (即ち抵抗の極小、極大) を二進情報の“0”又は“1”に対応づけることにより、情報を記憶する。

[0005] 磁気抵抗素子の記憶の書き込みには、記憶セル近傍に書き込み配線を配置し、電流を流した際に発生する電流磁場によって、記憶層の磁化方向のみを反転させる磁場書き込み方式が知られている。

[0006] しかし、大容量メモリを実現するために、素子サイズを小さくすると、記憶層を構成する磁性体の保磁力 (H_c) が原理的に大きくなるため、書き込みに必要な電流が素子を微細化するほど大きくなる傾向がある。また、書き込み配線からの電流磁場はセルサイズの縮小に対し原理的に小さくなるため

、磁場書き込み方式では、大容量設計で要求されるセルサイズの縮小と書き込み電流の低減を両立することは困難である。

[0007] 一方、近年この課題を克服する書き込み方式としてスピン角運動量移動 (SMT: spin-momentum-transfer) を用いた書き込み (スピン注入書き込み) 方式が提案されている (特許文献 1 を参照)。この方式は、磁気抵抗素子にスピン偏極電流を流して記憶層の磁化方向を反転させるもので、さらに記憶層を形成する磁性層の体積が小さいほど注入するスピン偏極電子も少なくてもよいので、素子の微細化と低電流化を両立できる書き込み方式として期待されている。

[0008] しかし、大容量化を達成するために素子を微細化すると、記憶層の磁化方向を一方向に維持するためのエネルギー障壁即ち磁気異方性エネルギーが熱エネルギーより小さくなり、結果として磁性体の磁化方向が揺らぎ (熱擾乱)、記憶情報をもはや維持できなくなるという問題が顕在化する。

[0009] 一般的に、磁化方向が反転するために必要なエネルギー障壁は、磁気異方性定数 (単位体積当りの磁気異方性エネルギー) と磁化反転単位体積の積で表わされるため、微細な素子サイズ領域で熱擾乱に対する耐性を確保するためには、磁気異方性定数が大きな材料を選択する必要がある。

[0010] これまで主に検討されている面内磁化型の構成では、形状磁気異方性を利用するのが一般的である。この場合、磁気異方性エネルギーを増加させるには、磁気抵抗素子のアスペクト比を大きくする、記憶層の膜厚を厚くする、記憶層の飽和磁化を大きくするなどの対策が必要となるが、これらの方策は、スピン注入方式の特徴を考えたとき、いずれも反転電流の増大を招くため、微細化に適さない。

[0011] 一方、形状磁気異方性ではなく、大きな結晶磁気異方性を有する材料を利用することも考えられるが、その場合、面内方向の磁化容易軸は、膜面内で大きく分散してしまうため、MR比 (Magnetoresistance ratio) が低下、或いはインコヒーレントな歳差運動が誘発され、結果として反転電流が増加してしまうこととなる。そのためこの方策もまた好ましくない。

- [0012] また、面内磁化型の構成では、形状により発現する磁気異方性を利用して、反転電流は形状のばらつきに敏感となる。その結果、微細化に伴い形状のばらつきが増加すると、反転電流のばらつきも増加する。
- [0013] これに対し、磁気抵抗素子を構成する強磁性材料に、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する、いわゆる垂直磁化膜を用いることが考えられる。垂直磁化型の構成で結晶磁気異方性を利用する場合、形状異方性を利用しないため、素子形状を面内磁化型に比べて小さくすることができる。また、磁化容易方向の分散も小さくできるため、大きな結晶磁気異方性を有する材料を採用することにより、熱擾乱耐性を維持しつつ、微細化と低電流の両立が実現できると期待される。
- [0014] 垂直磁化膜に用いる材料系としては、L₁規則合金系（FePt、CoPtなど）や、多層膜（Co/Pt、Pd）系、hcp系（CoCrPtなど）、RE-TM系（Tb-CoFeなど）が挙げられる。
- [0015] 一般的に、非特許文献1に記載されているように、スピン注入方式によって磁化を反転させるための反転電流は、記憶層の飽和磁化 M_s 及び磁気緩和定数 α に依存する。このため、低電流のスピン注入によって記憶層の磁化を反転させるには、飽和磁化 M_s 及び磁気緩和定数 α を小さくすることが重要である。
- [0016] ここで、飽和磁化 M_s は、磁性材料の組成の調整や、非磁性元素の添加などにより小さくすることができる。しかし、飽和磁化 M_s の低減は、その他の特性に悪影響を与えるものであってはならない。
- [0017] また、磁気緩和定数 α は、小さな磁気緩和定数を持つ磁性層と大きな磁気緩和定数を持つ垂直磁化膜（例えば、上述の材料系）との積層膜により小さくすることができる（特許文献2を参照）。しかし、今後の更なる大容量化を考慮すると、この対策のみでは、反転電流の低電流化は不十分である。

先行技術文献

特許文献

- [0018] 特許文献1：米国特許第6,256,223号明細書

特許文献2：特開2007-142364号公報

非特許文献

[0019] 非特許文献1：G. Slonczewski, “Current-driven ecitation of magnetic mu
ltilayers”, 「JORNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS」, 1996, VOLU
ME 159, p. L1-L7

非特許文献2：Jpn. J. Appl. Phys., 45, 3889

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0020] 本発明は、熱的に安定であると同時に低電流の磁化反転を可能とするスピ
ン注入書き込み方式のための磁気抵抗素子及びそれを用いた磁気メモリを提
案する。

課題を解決するための手段

[0021] 本発明の例に係わる磁気抵抗素子は、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する
磁化方向が可変の第1磁性層と、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方
向が不変の第2磁性層と、前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に設けら
れる第1非磁性層とを備え、前記第1磁性層は、少なくとも第1強磁性材料
と第2強磁性材料とが積層された構造を有し、前記第1磁性層の磁化方向は
、前記第1磁性層、前記第1非磁性層及び前記第2磁性層を貫く電流により
変化し、前記第2強磁性材料の垂直磁気異方性は、前記第1強磁性材料の垂
直磁気異方性より小さく、前記第1強磁性材料の膜厚は、前記第2強磁性材
料の膜厚より薄い。

[0022] 本発明の例に係わる磁気抵抗素子は、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する
磁化方向が可変の第1磁性層と、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方
向が不変の第2磁性層と、前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に設けら
れる第1非磁性層とを備え、前記第1磁性層は、少なくとも第1強磁性材料
と第2強磁性材料とが積層された構造を有し、前記第1磁性層の磁化方向は
、前記第1磁性層、前記第1非磁性層及び前記第2磁性層を貫く電流により

変化し、前記第 2 強磁性材料の垂直磁気異方性は、前記第 1 強磁性材料の垂直磁気異方性より小さく、前記第 1 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントは、前記第 2 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントより小さい。

[0023] 本発明の例に係わる磁気メモリは、前記磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子を挟み込み、前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第 1 及び第 2 電極とを含むメモリセルを備える。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、熱的に安定であると同時に低電流の磁化反転を可能とするスピン注入書き込み方式のための磁気抵抗素子及びそれを用いた磁気メモリを提供できる。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1] 第 1 実施形態の MR 素子の主要部を示す図。
[図2] 図 1 の変形例を示す図。
[図3] 図 1 の変形例を示す図。
[図4] 垂直磁気異方性エネルギーの P d 濃度依存性を示す図。
[図5] 残留磁化比と膜厚との関係を示す図。
[図6] 残留磁化比と単位面積当たりの磁気モーメント比との関係を示す図。
[図7] 残留磁化比と膜厚との関係を示す図。
[図8] 第 1 実施形態の下地層及び記憶層を含む積層構造を示す断面図。
[図9] 第 2 実施形態の MRAM を示す回路図。
[図10] 1 個のメモリセル MC を示す断面図。
[図11] DSL モデムの DSL データパス部を示すブロック図。
[図12] 携帯電話端末を示すブロック図。
[図13] MRAM カードを示す上面図。
[図14] 転写装置を示す平面図。
[図15] 転写装置を示す断面図。
[図16] はめ込み型の転写装置を示す断面図。

[図17] スライド型の転写装置を示す断面図。

発明を実施するための形態

[0026] 本発明の実施形態に係わる磁気抵抗素子の基本概念を説明する。

[0027] 以下の説明において、略同一の機能及び構成を有する構成要素については、同一符号を付し、重複説明は必要な場合にのみ行う。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。従って、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

[0028] また、以下に示す各実施形態は、この発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、この発明の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。この発明の技術的思想は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

[0029] (第1実施形態)

第1実施形態は、磁気抵抗素子に関する。

[0030] (1) 磁気抵抗素子の構造

図1は、本発明の第1実施形態の磁気抵抗素子の主要部を示している。

[0031] 図1において、矢印は磁化方向を示している。本明細書及び特許請求の範囲でいう磁気抵抗素子とは、半導体或いは絶縁体をスペーサ層に用いるTMR（トンネル磁気抵抗効果）素子を指す。また、以下の図では、磁気抵抗素子の主要部を示しているが、図示の構成を含んでいれば、さらなる層を含んでいても構わない。

[0032] 磁気抵抗素子1は、スピン注入磁化反転方式によって書き込みを行う。即ち、各層に対し膜面垂直方向に流すスピン偏極電流の方向に応じて、記憶層と固定層の磁化の相対角を平行、反平行状態（即ち抵抗の極小、極大）とを変化させ、二進情報の“0”又は“1”に対応づけることにより、情報を記憶する。

[0033] 図1に示すように、磁気抵抗素子1は、少なくとも、2つの磁性層2、3と、磁性層2、3の間に設けられる非磁性層4とを有する。磁性層3は、膜面に垂直な方向に磁化容易軸を有し、膜面と交わる面に沿って回転する。以下、磁性層3を記憶層（自由層、磁化自由層、磁化可変層、記録層）と称する。記憶層（磁性層3）は、少なくとも第1強磁性材料と第2強磁性材料とが積層された構造を有する。記憶層（磁性層3）の詳細な性質については、後述する。以下、膜面垂直方向の磁化を垂直磁化と称する。

[0034] 磁性層2は、膜面に垂直な方向に磁化容易軸を有し、記憶層に対し磁化方向が固定されている。以下、磁性層2を固定層（磁化固定層、参照層、磁化参照層、ピン層、基準層、磁化基準層）と称する。固定層の詳細な性質については後述する。尚、図1では、固定層（磁性層2）の磁化方向は、典型例として基板に対し反対方向（上）を向いているが、基板方向（下）を向いても構わない。

[0035] 非磁性層（トンネルバリア層）4は、酸化物などの絶縁膜から構成される。非磁性層4のより詳細な性質については、後述する。

[0036] 磁気抵抗素子1は、スピン注入書き込み方式に用いる磁気抵抗素子である。即ち、書き込みの際は、固定層（磁性層2）から記憶層（磁性層3）へ、又は記憶層（磁性層3）から固定層（磁性層2）へ、膜面垂直方向に電流を流すことによって、スピン情報を蓄積される電子が固定層（磁性層2）から記憶層（磁性層3）へ注入される。

[0037] この注入される電子のスピン角運動量が、スピン角運動量の保存則に従って記憶層（磁性層3）の電子に移動されることによって、記憶層（磁性層3）の磁化が反転することになる。即ち、記憶層（磁性層3）の磁化方向は、記憶層（磁性層3）、非磁性層4及び固定層（磁性層2）を貫く双方向電流により変化する。

[0038] 図1は、下地層5の上に記憶層（磁性層3）が形成され、非磁性層4の上に固定層（磁性層2）が形成される、いわゆるトップピン構造を示している。

- [0039] 記憶層（磁性層 3）の下には下地層 5 がさらに形成されてもよい。下地層 5 は、記憶層（磁性層 3）より上の層の結晶配向性及び結晶粒径などの結晶性を制御するために用いられるが、詳細な性質については後述する。
- [0040] 固定層（磁性層 2）上にはキャップ層 6 がさらに形成されていてもよい。キャップ層 6 は、磁性層の酸化防止等、主として保護層として機能する。
- [0041] ここで、記憶層（磁性層 3）を構成する第 2 強磁性材料の垂直磁気異方性は、第 1 強磁性材料の垂直磁気異方性よりも小さい。また、第 1 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントは、第 2 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントよりも小さい。第 1 強磁性材料の膜厚は、第 2 強磁性材料の膜厚よりも薄い。
- [0042] 第 1 強磁性材料は、例えば、Co と Pd、又は、Co と Pt を含む合金であり、その合金の原子稠密面に対して優先配向される。
- [0043] 第 2 強磁性材料は、例えば、Co、Fe 及び B を含む合金（ $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ ） $_{100-y}\text{B}_y$ 、 $x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ である。また、第 2 強磁性材料は、例えば、Co 及び Fe を含み、さらに、Ta、Si、Nb、V、W、Cr、Mo、B の少なくとも 1 つを含む合金であってもよい。また、例えば、CoFeB/CoFeTa、CoFeB/CoFeBTa のように、それらが積層された形態でもよい。
- [0044] 第 2 強磁性材料は、立方晶構造又は正方晶構造からなり、(100) 面に配向した結晶粒を含んでいても構わない。
- [0045] 図 2 は、図 1 の磁気抵抗素子の変形例を示している。
- [0046] 図 2 の構造が図 1 の構造と異なる点は、固定層（磁性層 2）と非磁性層 4 との間に界面層 11 が挿入されていることにある。界面層 11 は強磁性体からなり、固定層（磁性層 2）と非磁性層 4 の界面での格子ミスマッチを緩和する効果を有するとともに、高分極率材料を用いることにより高 TMR と高いスピン注入効率を実現する効果も有する。界面層 11 は、強磁性体からなる。界面層 11 の詳細な性質については、後述する。
- [0047] 図 3 は、図 1 の磁気抵抗素子の変形例を示している。

[0048] 図3の構造が図1の構造と異なる点は、固定層（磁性層2）とキャップ層6の間に、非磁性層21とバイアス層（シフト調整層）22とが挿入されていることにある。

[0049] バイアス層22は、強磁性体からなり、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する垂直磁化膜であり、かつ固定層（磁性層2）の磁化方向と反対方向に固定されている。バイアス層22は、素子加工時に問題となる、固定層（磁性層2）からの漏れ磁場による記憶層反転特性のオフセットを、逆方向へ調整する効果を有する。

[0050] また、図3の構造においても、図2と同様に、非磁性層4と固定層（磁性層2）との間に界面層が挿入されていても構わない。非磁性層21及びバイアス層22の詳細な性質については、後述する。

[0051] （2）記憶層

磁気抵抗素子1の記憶層（磁性層3）として垂直磁化膜を用いる場合、前述の通り形状異方性を利用しないため、素子形状を面内磁化型に比し小さくでき、大きな垂直磁気異方性を示す材料を採用することにより、熱擾乱耐性を維持しつつ、微細化と低電流の両立が可能となる。以下に記憶層として具備すべき性質、及び材料選択の具体例について詳細に説明する。

[0052] （2-1）記憶層が具備すべき性質

記憶層として垂直磁化材料を用いる場合、対するその熱擾乱指数 Δ は、実効的な異方性エネルギー $K_u \cdot f \cdot V$ と熱エネルギー $k_B T$ との比をとって、下記のように表される。

$$\begin{aligned} [0053] \quad \Delta &= K_u \cdot f \cdot V / k_B T \\ &= (K_u - 2\pi N M_s^2) \cdot V a / k_B T \quad \dots \text{(式1)} \end{aligned}$$

ここで、

K_u : 垂直磁気異方性定数

M_s : 飽和磁化

N : 反磁場係数

$V a$: 磁化反転単位体積

T : 絶対温度

である。

[0054] 熱エネルギーにより磁化が揺らぐ問題（熱擾乱）を回避するには、 $\Delta > \sim 60$ が必要条件となるが、大容量化を念頭に素子サイズが小さくなる、若しくは膜厚が薄くなると、 V_a が小さくなり、記憶が維持できなくなり（＝熱擾乱）、不安定となることが懸念される。

[0055] そのため、記憶層としては、垂直磁気異方性定数 K_u が大きい、かつ／或いは、飽和磁化 M_s が小さい材料を選択することが望ましい。

[0056] 一方、垂直磁化方式のスピンの注入書き込みによる磁化反転に必要な臨界電流 I_c は、一般的に、下記のように表される。

$$I_c \propto \alpha / \eta \cdot \Delta \quad \dots \text{ (式 2) }$$

ここで、

α : 磁気緩和定数

η : スピン注入効率係数

である。

[0057] (2-2) 記憶層材料

上記のように、垂直磁化膜であり、かつ十分な熱擾乱耐性と低電流での磁化反転とを両立するためには、熱擾乱指数(Δ)を維持しながら、磁気緩和定数 α を小さく、スピン注入効率係数 η を大きくすることが望ましい。

[0058] スピン注入効率係数 η は、分極率に対して単調に増加するため、高い分極率を示す材料が望ましい。磁気緩和定数 α の低減は、特許文献2に記載されているように、小さな磁気緩和定数 α -smallを有する磁性層と大きな磁気緩和定数 α -largeを有する垂直磁化膜との積層膜により達成できる。

[0059] 小さな磁気緩和定数 α -smallを有する磁性層は、その垂直磁気異方性が、垂直磁化膜の垂直磁気異方性よりも小さい材料から構成される。しかし、この場合、小さな磁気緩和定数 α -smallを有する磁性層の膜厚が垂直磁化膜の膜厚よりも薄く、反転電流の低減が十分ではない。このため、今後の大容量化を考慮すると、低電流化をさらに推し進める必要がある。

[0060] 本発明では、記憶層（磁性層 3）を第 1 及び第 2 強磁性材料から構成し、第 1 強磁性材料としての垂直磁化膜は、その膜厚が 2 nm 以下の非常に薄い領域でも十分に高い垂直磁気異方性定数 K_u を有している。このため、第 2 強磁性材料は、その垂直磁気異方性が第 1 強磁性材料の垂直磁気異方性よりも小さく、その膜厚が第 1 強磁性材料の膜厚よりも厚くても、第 1 及び第 2 強磁性材料の磁気交換結合により垂直磁化膜となる。

[0061] これにより、第 2 強磁性材料の特徴を記憶層（磁性層 3）に反映させることができる。例えば、第 2 強磁性材料は、磁気緩和定数 α が小さく、非磁性層 4 を構成する材料（NaCl 構造の酸化物など）との相性がよく、高い分極率を有し、高いスピン注入効率係数 η を発現する材料から構成することができる。第 2 強磁性材料の具体例については、後に詳しく説明する。

[0062] 以下に具体的に説明する。

[0063] （2-2-1）記憶層を構成する第 1 強磁性材料の実施例 1

第 1 実施形態に係わる磁気抵抗素子 1 の記憶層（磁性層 3）を構成する第 1 強磁性材料は、コバルト（Co）、パラジウム（Pd）からなる合金から構成される。垂直磁化膜とするためには、膜面内を稠密に配し、即ち fcc（111）配向、或いは、hcp（0001）方向に成長させればよい。

[0064] 具体的には、図 1 乃至図 3 に示す下地層 5 を適切に選択することにより、結晶配向成長を制御することが可能である。下地層 5 の詳細及び具体的な作製方法については後述する。

[0065] 図 4 は、CoPd 膜の実効的な垂直磁気異方性エネルギーの Pd 濃度依存性を示している。

[0066] 横軸は、Pd 組成比を示し、縦軸は、磁気異方性定数 K_u^{eff} を示している。同図により、Pd 組成比を変化させ、飽和磁化 M_s を変化させながら 1×10^7 (erg/cc) 以上の高い垂直磁気異方性が可能となることが判った。

[0067] この高い垂直磁気異方性により、微細化しても、高い熱安定性を示すことができる磁気抵抗素子を提供することが可能となる。

[0068] （2-2-2）記憶層を構成する第 2 強磁性材料の実施例 1

第1実施形態に係わる磁気抵抗素子1の記憶層（磁性層3）を構成する第2強磁性材料は、Co、Fe、Niのいずれかの元素あるいは少なくとも1元素以上含む合金からなる。例えば、Co-Fe-Niの3元合金の磁気緩和定数 α は、非特許文献2に示されているように、特に、Co-Fe、Ni-Feで小さい。このため、これらは、第2強磁性材料に適している。

[0069] また、第2強磁性材料は、後述する界面層と同様の機能を有しているのが望ましい。

[0070] 即ち、非磁性層4にNaCl構造の酸化物を用いた場合、これらのNaCl構造の酸化物は、(i) Fe、Co、Niの1つ以上を含む、例えば、アモルファスCoFeNiB合金上、或いは、(ii) 体心立方（BCC：body-centered cubic）構造で（100）優先配向面を有し、Fe、Co、Niの1つ以上を含む合金上で、結晶成長させると、（100）面を優先配向面として成長し易い。

[0071] 特に、B、C、Nなどを添加したCoFe-X（Xは、B、C、Nの少なくとも1つ）アモルファス合金上では、非常に容易に（100）面を優先配向させることが可能である。CoFe-Bについては、非特許文献2によれば、磁気緩和定数が小さく、第2強磁性材料に適している。

[0072] （2-2-3）第1及び第2強磁性材料の積層構造に係わる実施例

この実施例では、磁気抵抗素子1の記憶層（磁性層3）は、第1強磁性材料をCo₅₇Pd₄₃とし、第2強磁性材料をCo₄₀Fe₄₀B₂₀とする。即ち、積層構造は、Co₄₀Fe₄₀B₂₀/Co₅₇Pd₄₃である。

[0073] 図5は、残留磁化比と膜厚との関係を示している。

[0074] ここでは、膜厚は、第2強磁性材料としてのCoFeB（CFB）の膜厚とし、残留磁化比は、膜面垂直方向に磁場を印加して測定した磁化曲線の飽和磁化 M_s と残留磁化 M_r （磁場0における磁化）との比（ M_r/M_s ）とする。

[0075] 各プロットは、CoPd合金の膜厚（2.4nm、1.2nm、0.8nm）と膜形成後の熱処理温度（300℃）とをパラメータとする。膜厚2.

4 nmのCoPd合金の垂直磁気異方性が大きいことは上述の通りである。しかし、膜厚0.8 nmのCoPd合金は、それよりも膜厚が厚いCoFeBを積層しても、 (M_r/M_s) がほぼ1となり、膜面垂直方向が磁化容易軸となる。

[0076] 本図から分かることは、第1強磁性材料の膜厚が第2強磁性材料の膜厚より厚い領域はもちろんのこと、第1強磁性材料の膜厚が第2強磁性材料の膜厚より薄い領域においても、 (M_r/M_s) がほぼ1を確保している構成を実現できることにある。

[0077] 即ち、第2強磁性材料の垂直磁気異方性が第1強磁性材料の垂直磁気異方性よりも小さいときに、第1強磁性材料の膜厚が第2強磁性材料の膜厚より薄くても、第1及び第2強磁性材料からなる記憶層全体として垂直磁気異方性を確保できる（膜面垂直方向が磁化容易軸となる）、ということが、本図から明らかになった。

[0078] 図6は、残留磁化比と単位面積当たりの磁気モーメント比との関係を示している。

[0079] 残留磁化比 (M_r/M_s) は、図5と同じである。磁気モーメント比は、第2強磁性材料であるCoFeBの単位面積当たりの磁気モーメント M_2 と第1強磁性材料であるCoPd合金の単位面積当たりの磁気モーメント M_1 （飽和磁化と膜厚の積）との比 (M_2/M_1) とする。残留磁化比を大きく（例えば、0.9近傍以上）とするため、 M_2/M_1 は、望ましくは2.8以下、さらに望ましくは2.2以下にする。

[0080] 磁気モーメント比は、第1強磁性材料と第2強磁性材料のいずれが記憶層として大きく寄与するかの尺度となる。

[0081] 本図から分かることは、第1強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメント M_1 が第2強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメント M_2 より大きい領域はもちろんのこと、第1強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメント M_1 が第2強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメント M_2 より小さい領域においても、ほぼ1を確保している構成を実現できることにある。

[0082] 即ち、第2強磁性材料の垂直磁気異方性が第1強磁性材料の垂直磁気異方性よりも小さいときに、第1強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメント M_1 が第2強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメント M_2 より小さくても、第1及び第2強磁性材料からなる記憶層全体として垂直磁気異方性を確保できる（膜面垂直方向が磁化容易軸となる）、ということが、本図から明らかになった。

[0083] M_r/M_s がほぼ1であるということは、磁場が印加されていない状態で磁化方向が膜面に垂直な方向にほぼ揃っていることになる。つまり、 M_r/M_s が1よりも小さくなるにつれて、磁化が膜面垂直方向から傾いている成分が存在することになる。磁気抵抗比は固定層と記憶層の2つの磁化の相対角度にも依存するため、 M_r/M_s は0.9以上が好ましく、0.95以上がより好ましいと言える。また、図5および図6において、 M_r/M_s が1を超える測定点もあるが、VSM測定時に生ずる誤差である。

[0084] 図7は、残留磁化比と膜厚との関係を示している。

[0085] ここでは、膜厚は、第2強磁性材料としての CoFeB （ CFB ）— Ta の膜厚とし、残留磁化比は、膜面垂直方向に磁場を印加して測定した磁化曲線の飽和磁化 M_s と残留磁化 M_r （磁場0における磁化）との比（ M_r/M_s ）とする。

[0086] CoFeB-Ta とは、 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ に Ta を添加した材料である。これに代えて、 CoFeB と Ta とを積層した材料を用いてもよい。例えば、 CoFeB/Ta/CoFeB （ $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}/\text{Ta}/\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 等）や、 CoFeB/Ta （ $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}/\text{Ta}$ 等）などである。また、第1の強磁性層材料は、 $\text{Co}_{57}\text{Pd}_{43}$ とする。

[0087] 各プロットは、 CoPd 合金の膜厚（0.5nm、0.6nm、0.7nm）をパラメータとする。 CoFeB-Ta の膜厚が CoPd 合金の膜厚よりも厚い領域でも、（ M_r/M_s ）がほぼ1となり、垂直磁化膜となっていることがわかる。このとき、 Ta は、 CoFeB に対し、5～30vol%、例えば、20vol%程度添加し、 M_s は、700emu/cc程度であ

る。Ta添加量を変えることでMsを調整することができる。また、添加元素は、Taに限られない。Msを調整するためのTaに代わる元素として、例えば、Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Wなどがある。

[0088] 本図からは、図5と同様に、第2強磁性材料の垂直磁気異方性が第1強磁性材料の垂直磁気異方性よりも小さいときに、第1強磁性材料の膜厚が第2強磁性材料の膜厚より薄くても、第1及び第2強磁性材料からなる記憶層全体として垂直磁気異方性を確保できる（膜面垂直方向が磁化容易軸となる）、ということが分かる。

[0089] また、CoPd合金の3通りの膜厚の全てにおいて、CoFeB-Taの膜厚が1.8nm以下のときに、Mr/Msを0.9にすることができる。即ち、CoFeB-Taの膜厚は、1.8nm以下であるのが望ましい。

[0090] さらに、CoFeB-Taの膜厚とCoPd合金の膜厚との比Rtで考えると、Rtは、3.8未満が望ましい。さらに、Rtは、3.6(=1.8nm/0.5nm)以下、望ましくは3.0(=1.8nm/0.6nm)以下、さらに望ましくは2.57(=1.8nm/0.7nm)以下である。

[0091] 第1強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントM1が第2強磁性材料の磁気モーメントM2より小さい場合でも、第2強磁性材料の膜厚t2が第1強磁性材料の膜厚t1よりも薄い場合も存在する。このケースは、第1強磁性材料の飽和磁化に比較して第2強磁性材料の飽和磁化が大きいときに相当する。例えば、J. Appl. Phys. 105 (2009) 07B726に開示されているようにCo₅₀Pt₅₀に対し、Co-Ni-Pt合金とすると、CoPtの940emu/ccからCo-Ni-Ptの500~600emu/cc程度に小さくすることができる。CoFeBの飽和磁化は組成にもよるが1000~1400emu/cc程度である。

[0092] (3) 下地層

上述の記憶層の詳細な説明に示す通り、膜面に対して垂直方向を磁化容易軸とする垂直磁化膜を形成するには、原子稠密面が配向しやすい構造を取る必要がある。即ち、結晶配向性をfcc(111)面、hcp(001)面が配向するように制御する必要があり、そのため下地層材料及び積層構成の

選択が重要となる。

[0093] (3-1) 下地層の積層構成

図8は、下地層及び記憶層（磁性層）を含む積層構造を示す断面図である。

[0094] この積層構造は、熱酸化膜付きSi基板7上に下地層5を設けた構造である。また、下地層5上には、記憶層（磁性層3）として、例えば、膜厚2nm程度のCoPdを設ける。CoPdよりも上の構成は、図1乃至図3に示す通りである。

[0095] 第1実施形態に係わる磁気抵抗素子の下地層5のうち、下地層33はCoPdおよびCoPt合金と格子整合性する金属材料が好ましい。下地層31は、Si基板7との密着性を向上させると共に、下地層32、33の平滑性及び結晶配向性を向上させるような材料および構成が好ましい。下地層32、33は、膜厚3nm程度のRu層、膜厚3nm程度のPt層などから構成するのが好ましい。

[0096] 下地層31～33の具体的な材料については後述する。

[0097] (3-2) 下地層の材料

下地層33としては、稠密構造を有する金属が用いられる。

[0098] CoPd合金、CoPt合金と格子整合し、稠密構造を有する金属としては、Pt、Pd、Ir、Ru等が挙げられる。また、例えば、金属が1元素ではなく、Pt-Pd、Pt-Irのように、上述の金属が2元素、或いは3元素以上で構成される合金を用いてもよい。また、上述の金属と、Cu、Au、Al等のfcc金属との合金であるPt-Cu、Pd-Cu、Ir-Cu、Pt-Au、Ru-Au、Pt-Al、Ir-Al等や、Re、Ti、Zr、Hf等のhcp金属との合金であるPt-Re、Pt-Ti、Ru-Re、Ru-Ti、Ru-Zr、Ru-Hf等であってもよい。膜厚が厚すぎると平滑性が悪くなるため、膜厚範囲としては、30nm以下の範囲にあることが好ましい。下地層32、33の積層構成とするのは、格子定数の異なる材料を積層することにより、CoPd合金、CoPt合金の形成前に

格子定数を調整するためである。例えば、下地層 3 2 に R u、下地層 3 3 に P t を形成した場合、下地層 3 3 の P t は下地層 3 2 の R u の影響を受けて、バルクの格子定数とは異なる格子定数となる。但し、上述したように、合金を用いても格子定数を調整できるため、下地層 3 2、3 3 はいずれかを省くこともできる。

[0099] 下地層 5 のうち、下地層 3 1 は、平滑性、及び下地層 3 2、3 3 の稠密構造を有する金属の結晶配向性を向上させる目的で用いられる。具体的には、T a 等が挙げられる。さらに、下地層 3 1 の膜厚は、厚すぎると成膜に時間がかかり、生産性が低下する要因となり、また、薄すぎると上述の配向制御の効果を失うため、1 乃至 10 nm の範囲にあることが好ましい。

[0100] (4) 非磁性層

第 1 実施形態に係わる磁気抵抗素子の非磁性層 4 の材料としては、N a C l 構造を有する酸化物が好ましい。具体的には M g O、C a O、S r O、T i O、V O、N b O などが挙げられる。記憶層 3 の磁化と固定層 2 の磁化方向とが反平行の場合、スピン分極した $\Delta 1$ バンドがトンネル伝導の担い手となるため、マジョリティースピン電子のみが伝導に寄与することとなる。この結果、磁気抵抗素子 1 の伝導率が低下し、抵抗値が大きくなる。

[0101] 反対に、記憶層 3 の磁化と固定層 3 の磁化方向とが平行であると、スピン偏極していない $\Delta 5$ バンドが伝導を支配するために、磁気抵抗素子 1 の伝導率が上昇し、抵抗値が小さくなる。従って、 $\Delta 1$ バンドの形成が高 TMR を発現させるためのポイントとなる。

[0102] $\Delta 1$ バンドを形成するためには、N a C l 構造の酸化物からなる非磁性層 4 の (100) 面と記憶層 3 及び固定層 2 との界面の整合性がよくなければならない。

[0103] N a C l 構造の酸化物層のからなる非磁性層 4 の (100) 面での格子整合性をさらに良くするために、界面層 1 1 を挿入してもよい。 $\Delta 1$ バンドを形成するという観点からは、界面層 1 1 として、非磁性層 4 の (100) 面での格子ミスマッチが 5 % 以下となるような材料を選択することが、より好

ましい。

[0104] (5) 固定層

図1乃至図3に示す磁気抵抗素子1の固定層（磁性層2）としては、記憶層（磁性層3）に対し、容易に磁化方向が変化しない材料を選択することが好ましい。即ち、実効的な磁気異方性 K_u^{eff} 及び飽和磁化 M_s が大きく、また磁気緩和定数 α が大きい材料を選択することが好ましい。具体的な材料については後述する。

[0105] (5-1) 規則合金系

Fe、Co、Niのうち1つ以上の元素とPt、Pdのうち1つ以上の元素とからなる合金であり、この合金の結晶構造がL1₀型の規則合金。例えば、Fe₅₀Pt₅₀、Fe₅₀Pd₅₀、Co₅₀Pt₅₀、Fe₃₀Ni₂₀Pt₅₀、Co₃₀Fe₂₀Pt₅₀、Co₃₀Ni₂₀Pt₅₀等があげられる。これらの規則合金は上記組成比に限定されない。

[0106] これらの規則合金に、Cu（銅）、Cr（クロム）、Ag（銀）等の不純物元素、或いはその合金、絶縁物を加えて実効的な磁気異方性エネルギー及び飽和磁化を調整することができる。また、これらの合金を固定層（磁性層2）として用いる場合、特に非磁性層4との格子ミスマッチが大きい材料を選択する場合においては、図2に示すように、非磁性層4と固定層（磁性層2）の間に、界面層11が挿入されることが好ましい。

[0107] (5-2) 人工格子系

Fe、Co、Niのうちいずれか1つの元素、或いは1つ以上の元素を含む合金と、Cr、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Re、Au、Cuのうちいずれか1つの元素或いは1つ以上の元素を含む合金とが交互に積層される構造。例えば、Co/Pt人工格子、Co/Pd人工格子、CoCr/Pt人工格子、Co/Ru人工格子、Co/Os、Co/Au、Ni/Cu人工格子等があげられる。

[0108] これらの人工格子は、磁性層への元素の添加、磁性層と非磁性層の膜厚比及び積層周期を調整することで、実効的な磁気異方性エネルギー及び飽和磁

化を調整することができる。また、これらの積層膜を固定層（磁性層２）として用いる場合は、多くの場合、非磁性層４との格子ミスマッチが大きく、高ＴＭＲの観点からは好ましくない。

[0109] このような場合は、図２に示すように、非磁性層４と固定層（磁性層２）の間に、界面層１１が挿入されることが好ましい。

[0110] （５－３）不規則合金系

コバルト（Ｃｏ）を主成分とし、クロム（Ｃｒ）、タンタル（Ｔａ）、ニオブ（Ｎｂ）、バナジウム（Ｖ）、タングステン（Ｗ）、ハフニウム（Ｈｆ）、チタン（Ｔｉ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、白金（Ｐｔ）、パラジウム（Ｐｄ）、鉄（Ｆｅ）、及びニッケル（Ｎｉ）のうち１つ以上の元素を含む金属が挙げられる。

[0111] 例えば、ＣｏＣｒ合金、ＣｏＰｔ合金、ＣｏＣｒＰｔ合金、ＣｏＣｒＰｔＴａ合金、ＣｏＣｒＮｂ合金等が挙げられる。

[0112] これらの合金は、非磁性元素の割合を増加させて実効的な磁気異方性エネルギー及び飽和磁化を調整することができる。また、これらの合金を固定層（磁性層２）として用いる場合は、多くの場合、非磁性層４との格子ミスマッチが大きく、高ＴＭＲの観点からは好ましくない。

[0113] このような場合は、図２に示すように、非磁性層４と固定層（磁性層２）の間に、界面層１１が挿入されることが好ましい。

[0114] （６）界面層

第１実施形態に係わる磁気抵抗素子１の非磁性層４に接する磁性層（固定層（磁性層２））の界面には、磁気抵抗比（ＴＭＲ比）を上昇させる目的で、図２に示す界面層１１を配置しても良い。

[0115] 界面層１１は、高分極率材料、具体的には、Ｃｏ、Ｆｅ、及びＢを含む合金（ $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ ） $_{100-y}\text{B}_y$ からなり、 $100 \geq x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ であることが好ましい。

[0116] これらの磁性材料を界面層１１として用いることにより、固定層（磁性層２）と非磁性層４との間の格子ミスマッチが緩和され、さらに高分極率材料

であるため、高TMRと高いスピン注入効率を実現する効果が期待される。

[0117] (7) バイアス層

図3に示すように、第1実施形態に係わる磁気抵抗素子1の固定層2とキャップ層6の間に、非磁性層21と、バイアス層（シフト調整層）22を配置してもよい。これにより、固定層2からの漏れ磁場による記憶層3の反転電流のシフトを0に近付けるように調整することが可能となる。

[0118] 非磁性層21は、固定層2とバイアス層22とが熱工程によって混ざらない耐熱性、及びバイアス層22を形成する際の結晶配向を制御する機能を具備することが望ましい。

[0119] さらに、非磁性層21の膜厚が厚くなるとバイアス層22と記憶層3との距離が離れるため、バイアス層22から記憶層（磁性層3）に印加されるシフト調整磁界が小さくなってしまう。このため、非磁性層21の膜厚は、5nm以下であることが望ましい。

[0120] バイアス層22は、膜面垂直方向に磁化容易軸を有する、強磁性材料から構成される。具体的には、固定層（磁性層2）で挙げた材料を用いることができる。但し、バイアス層22は、固定層（磁性層2）に比べて記憶層（磁性層3）から離れているため、記憶層（磁性層3）に印加される漏れ磁場をバイアス層22によって調整するためには、バイアス層22の膜厚、或いは飽和磁化 M_s の大きさを固定層（磁性層2）より大きくする設定する必要がある。

[0121] 即ち、固定層（磁性層2）の膜厚及び飽和磁化を t_2 、 M_{s2} 、バイアス層22の膜厚及び飽和磁化を t_{22} 、 M_{s22} とすると、以下の関係式を満たす必要がある。

$$M_{s2} \times t_2 < M_{s22} \times t_{22} \quad \dots \text{ (式3) }$$

例えば、素子サイズ50nmの加工を想定した場合、反転電流のシフトを相殺するためには、固定層（磁性層2）に飽和磁化 M_s が1000emu/cc、膜厚が5nmの磁性材料を用いたとすると、非磁性層21の膜厚は3nm、バイアス層22には飽和磁化 M_s が1000emu/cc、膜厚が1

5 nm程度のバイアス層特性が要求される。

[0122] また、上述のシフトキャンセル効果を得るには、固定層（磁性層2）とバイアス層22との磁化方向は反平行に設定される必要がある。

[0123] この関係を満たすためには、固定層（磁性層2）の保磁力 H_{c2} とバイアス層22の保磁力 H_{c22} との間には、 $H_{c2} > H_{c22}$ 、或いは $H_{c2} < H_{c22}$ の関係を満たす材料を選択すればよい。この場合、予めMinor Loop着磁により保磁力の小さい層の磁化方向を反転させることにより、固定層（磁性層2）とバイアス層22との磁化方向は反平行に設定することが可能となる。

[0124] また、非磁性層21を介して固定層（磁性層2）及びバイアス層22を反強磁性結合（SAF（Synthetic Anti-Ferromagnet）結合）させることによっても、同様に固定層（磁性層2）とバイアス層22との磁化方向は反平行に設定することが可能となる。

[0125] 具体的には、非磁性層21の材料として、例えば、ルテニウム（Ru）を用い、固定層（磁性層2）とバイアス層22との磁化方向を反平行に結合させることができる。これにより、バイアス層22によって固定層（磁性層2）から出る漏れ磁界を低減することができ、結果的に、記憶層（磁性層3）の反転電流のシフトを低減することができる。

[0126] この結果、素子間での記憶層（磁性層3）の反転電流のばらつきを低減することも可能となる。

[0127] 以上、述べたように、第1実施形態に係わる磁気抵抗素子によれば、熱的に安定であると同時に低電流での磁化反転が可能なスピン注入書き込み方式のための磁気抵抗素子を得ることができる。

[0128] （第2実施形態）

第2実施形態は、第1実施形態の磁気抵抗素子を用いた磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）に関し、その構成例について示すものである。

[0129] 図9は、第2実施形態のMRAMの構成を示す回路図である。

[0130] MRAMは、マトリクス状に配列される複数のメモリセルMCを有するメ

メモリセルアレイ 40 を備えている。メモリセルアレイ 40 には、それぞれが列（カラム）方向に延在するように、複数のビット線対 B_L 、 $/B_L$ が配設されている。また、メモリセルアレイ 40 には、それぞれが行（ロウ）方向に延在するように、複数のワード線 W_L が配設されている。

[0131] ビット線 B_L とワード線 W_L との交差部分には、メモリセル MC が配置されている。各メモリセル MC は、磁気抵抗素子 1、及び N チャネル MOS トランジスタからなる選択トランジスタ 41 を備えている。磁気抵抗素子 1 の一端は、ビット線 B_L に接続されている。磁気抵抗素子 1 の他端は、選択トランジスタ 41 のドレイン端子に接続されている。選択トランジスタ 41 のゲート端子は、ワード線 W_L に接続されている。選択トランジスタ 41 のソース端子は、ビット線 $/B_L$ に接続されている。

[0132] ワード線 W_L には、ロウデコーダ 42 が接続されている。ビット線対 B_L 、 $/B_L$ には、書き込み回路 44 及び読み出し回路 45 が接続されている。書き込み回路 44 及び読み出し回路 45 には、カラムデコーダ 43 が接続されている。各メモリセル MC は、ロウデコーダ 42 及びカラムデコーダ 43 により選択される。

[0133] メモリセル MC へのデータの書き込みは、以下のように行われる。まず、データ書き込みを行うメモリセル MC を選択するために、このメモリセル MC に接続されるワード線 W_L が活性化される。これにより、選択トランジスタ 41 がターンオンする。

[0134] ここで、磁気抵抗素子 1 には、書き込みデータに応じて、双方向の書き込み電流 I_w が供給される。具体的には、磁気抵抗素子 1 に左から右へ書き込み電流 I_w を供給する場合、書き込み回路 44 は、ビット線 B_L に正の電圧を印加し、ビット線 $/B_L$ に接地電圧を印加する。また、磁気抵抗素子 1 に右から左へ書き込み電流 I_w を供給する場合、書き込み回路 44 は、ビット線 $/B_L$ に正の電圧を印加し、ビット線 B_L に接地電圧を印加する。このようにして、メモリセル MC にデータ “0”、或いはデータ “1” を書き込むことができる。

[0135] 次に、メモリセルMCからのデータ読み出しは、以下のように行われる。
まず、選択されるメモリセルMCの選択トランジスタ41がターンオンする。
読み出し回路45は、磁気抵抗素子1に、例えば右から左へ流れる読み出し電流 I_r を供給する。そして、読み出し回路45は、この読み出し電流 I_r に基づいて、磁気抵抗素子10の抵抗値を検出する。このようにして、磁気抵抗素子1に記憶されるデータを読み出すことができる。

[0136] 次に、MRAMの構造について説明する。

図10は、1個のメモリセルMCを示す断面図である。

[0137] P型半導体基板51の表面領域には、素子分離絶縁層が設けられ、この素子分離絶縁層が設けられていない半導体基板51の表面領域が素子を形成する素子領域(active area)となる。素子分離絶縁層は、例えばSTI(Shallow Trench Isolation)により構成される。STIとしては、例えば、酸化シリコンが用いられる。

[0138] 半導体基板51の素子領域には、互いに離間したソース領域S及びドレイン領域Dが設けられている。このソース領域S及びドレイン領域Dはそれぞれ、半導体基板51内に高濃度の N^+ 型不純物を導入して形成される N^+ 型拡散領域から構成される。ソース領域S及びドレイン領域D間で半導体基板51上には、ゲート絶縁膜41Aを介して、ゲート電極41Bが設けられている。ゲート電極41Bは、ワード線WLとして機能する。このようにして、半導体基板51には、選択トランジスタ41が設けられている。

[0139] ソース領域S上には、コンタクト52を介して配線層53が設けられている。配線層53は、ビット線/BLとして機能する。ドレイン領域D上には、コンタクト54を介して引き出し線55が設けられている。引き出し線55上には、下部電極7及び上部電極9に挟まれた磁気抵抗素子1が設けられている。上部電極9上には、配線層56が設けられている。配線層56は、ビット線BLとして機能する。また、半導体基板51と配線層56との間は、例えば、酸化シリコンからなる層間絶縁層57で満たされている。

[0140] 以上、詳述したように、第2実施形態によれば、磁気抵抗素子1を用いて

MRAMを構成することができる。尚、磁気抵抗素子1は、スピン注入型の磁気メモリの他、磁壁移動型の磁気メモリとして使用することも可能である。

[0141] 第2実施形態で示したMRAMは、様々な装置に適用することが可能である。以下に、MRAMのいくつかの適用例について説明する。

[0142] (適用例1)

図11は、デジタル加入者線(DSL)用モデムのDSLデータパス部を抽出して示している。

[0143] このモデムは、プログラマブルデジタルシグナルプロセッサ(DSP: Digital Signal Processor)100、アナログーデジタル(A/D)コンバータ110、デジタルーアナログ(D/A)コンバータ120、送信ドライバ130、及び受信機増幅器140等を備えている。

[0144] 図11では、バンドパスフィルタを省略しており、その代わりに回線コードプログラム(DSPで実行される、コード化される加入者回線情報、伝送条件等(回線コード: QAM、CAP、RSK、FM、AM、PAM、DWMT等)に応じてモデムを選択、動作させるためのプログラム)を保持するための種々のタイプのオプションのメモリとして、本実施形態のMRAM170とEEPROM180とを示している。

[0145] 尚、本適用例では、回線コードプログラムを保持するためのメモリとしてMRAM170とEEPROM180との2種類のメモリを用いているが、EEPROM180をMRAMに置き換えてもよい。即ち、2種類のメモリを用いず、MRAMのみを用いるように構成してもよい。

[0146] (適用例2)

図12は、別の適用例として、携帯電話端末300を示している。

[0147] 通信機能を実現する通信部200は、送受信アンテナ201、アンテナ共用器202、受信部203、ベースバンド処理部204、音声コーデックとして用いられるDSP205、スピーカ(受話器)206、マイクロホン(送話器)207、送信部208、及び周波数シンセサイザ209等を備えて

いる。

- [0148] また、この携帯電話端末 300 には、当該携帯電話端末 300 の各部を制御する制御部 220 が設けられている。制御部 220 は、CPU 221、ROM 222、本実施形態の MRAM 223、及びフラッシュメモリ 224 がバス 225 を介して接続されて形成されるマイクロコンピュータである。上記 ROM 222 には、CPU 221 において実行されるプログラムや表示用のフォント等の必要となるデータが予め記憶されている。
- [0149] MRAM 223 は、主に作業領域として用いられるものであり、CPU 221 がプログラムの実行中において計算途中のデータ等を必要に応じて記憶したり、制御部 220 と各部との間でやり取りするデータを一時的に記憶したりする場合等に用いられる。また、フラッシュメモリ 224 は、携帯電話端末 300 の電源がオフされても、例えば、直前の設定条件等を記憶しておき、次の電源オン時に同じ設定にするような使用方法をする場合に、それらの設定パラメータを記憶しておくものである。
- [0150] これによって、携帯電話端末 300 の電源がオフにされても、記憶されている設定パラメータを消失してしまうことがない。
- [0151] また、この携帯電話端末 300 には、オーディオ再生処理部 211、外部出力端子 212、LCD コントローラ 213、表示用の LCD（液晶ディスプレイ）214、及び呼び出し音を発生するリング 215 等が設けられている。オーディオ再生処理部 211 は、携帯電話端末 300 に入力されるオーディオ情報（或いは、後述する外部メモリ 240 に記憶されるオーディオ情報）を再生する。再生されるオーディオ情報は、外部出力端子 212 を介してヘッドフォンや携帯型スピーカ等に伝えることにより、外部に取り出すことが可能である。
- [0152] このように、オーディオ再生処理部 211 を設けることにより、オーディオ情報の再生が可能となる。LCD コントローラ 213 は、例えば CPU 221 からの表示情報を、バス 225 を介して受け取り、LCD 214 を制御するための LCD 制御情報に変換し、LCD 214 を駆動して表示を行わせ

る。

[0153] さらに、携帯電話端末300には、インターフェース回路(I/F)231、233、235、外部メモリ240、外部メモリスロット232、キー操作部234、及び外部入出力端子236等が設けられている。上記外部メモリスロット232にはメモリカード等の外部メモリ240が挿入される。この外部メモリスロット232は、インターフェース回路(I/F)231を介してバス225に接続される。

[0154] このように、携帯電話端末300にスロット232を設けることにより、携帯電話端末300の内部の情報を外部メモリ240に書き込んだり、或いは外部メモリ240に記憶される情報(例えばオーディオ情報)を携帯電話端末300に入力したりすることが可能となる。

[0155] キー操作部234は、インターフェース回路(I/F)233を介してバス225に接続される。キー操作部234から入力されるキー入力情報は、例えば、CPU221に伝えられる。外部入出力端子236は、インターフェース回路(I/F)233を介してバス225に接続され、携帯電話端末300に外部から種々の情報を入力したり、或いは携帯電話端末300から外部へ情報を出力したりする際の端子として機能する。

[0156] 尚、本適用例では、ROM222、MRAM223、及びフラッシュメモリ224を用いているが、フラッシュメモリ224をMRAMに置き換えてもよいし、さらにROM222もMRAMに置き換えることも可能である。

[0157] (適用例3)

図13乃至図17は、MRAMをスマートメディア等のメディアコンテンツを収納するカード(MRAMカード)に適用した例をそれぞれ示している。

[0158] 図13に示すように、MRAMカード本体400には、MRAMチップ401が内蔵されている。このカード本体400には、MRAMチップ401に対応する位置に開口部402が形成され、MRAMチップ401が露出されている。この開口部402にはシャッター403が設けられており、当該

MRAMカードの携帯時にMRAMチップ401がシャッター403で保護されるようになっている。このシャッター403は、外部磁場を遮蔽する効果のある材料、例えばセラミックからなっている。

[0159] データを転写する場合には、シャッター403を開放してMRAMチップ401を露出させて行なう。外部端子404は、MRAMカードに記憶されるコンテンツデータを外部に取り出すためのものである。

[0160] 図14及び図15は、MRAMカードにデータを転写するための、カード挿入型の転写装置を示している。

[0161] データ転写装置500は、収納部500aを有している。この収納部500aには、第1MRAMカード550が収納されている。収納部500aには、第1MRAMカード550に電氣的に接続される外部端子530が設けられており、この外部端子530を用いて第1MRAMカード550のデータが書き換えられる。

[0162] エンドユーザの使用する第2MRAMカード450を、矢印で示すように転写装置500の挿入部510より挿入し、ストッパ520で止まるまで押し込む。このストッパ520は、第1MRAM550と第2MRAMカード450を位置合わせするための部材としても働く。第2MRAMカード450が所定位置に配置されると、第1MRAMデータ書き換え制御部から外部端子530に制御信号が供給され、第1MRAM550に記憶されるデータが第2MRAMカード450に転写される。

[0163] 図16は、はめ込み型の転写装置を示す断面図である。

[0164] この転写装置500は、矢印で示すように、ストッパ520を目標に、第1MRAM550上に第2MRAMカード450をはめ込むように載置するタイプである。転写方法についてはカード挿入型と同一であるので、説明を省略する。

[0165] 図17は、スライド型の転写装置を示す断面図である。

[0166] この転写装置500は、CD-ROMドライブやDVDドライブと同様に、転写装置500に受け皿スライド560が設けられており、この受け皿ス

ライド５６０が矢印で示すように移動する。受け皿スライド５６０が破線の位置に移動したときに第２ＭＲＡＭカード４５０を受け皿スライド５６０に載置し、第２ＭＲＡＭカード４５０を転写装置５００の内部へ搬送する。

[0167] ストッパ５２０に第２ＭＲＡＭカード４５０の先端部が当接するように搬送される点、及び転写方法についてはカード挿入型と同一であるので、説明を省略する。

[0168] (むすび)

以上詳述したように本発明によれば、３００℃以上の高温熱処理過程を経ても磁気特性及び出力特性が劣化しない、耐熱性に優れた磁気抵抗素子を作製でき、これを用いることにより、従来よりも高耐熱の磁気メモリを提供することができる。

[0169] 本発明の例は、上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、各構成要素を変形して具体化できる。また、上述の実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより種々の発明を構成できる。例えば、上述の実施形態に開示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよいし、異なる実施形態の構成要素を適宜組み合わせてもよい。

産業上の利用可能性

[0170] 本発明は、高速ランダム書き込み可能なファイルメモリ、高速ダウンロード可能な携帯端末、高速ダウンロード可能な携帯プレーヤー、放送機器用半導体メモリ、ドライブレコーダ、ホームビデオ、通信用大容量バッファメモリ、防犯カメラ用半導体メモリなどに対して産業上のメリットは多大である。

符号の説明

[0171] １…磁気抵抗素子、２…固定層（強磁性層）、３…記憶層（フェリ磁性層）、４…非磁性層（トンネルバリア層）、５…下地層、６…キャップ層、７…基板、８…密着層（下部電極）、９…上部電極、２１～２２…界面層、３１～３４…下地層、４０…メモリセルアレイ、４１…選択トランジスタ、４

1 A…ゲート絶縁膜、4 1 B…ゲート電極、4 2…ロウデコーダ、4 3…コラムデコーダ、4 4…書き込み回路、4 5…読み出し回路、5 1…半導体基板、5 2, 5 4…コンタクト、5 3, 5 6…配線層、5 5…引き出し線、5 7…層間絶縁層、MC…メモリセル、BL…ビット線、WL…ワード線、S…ソース領域、D…ドレイン領域、1 0 0…DSP、1 1 0…A/Dコンバータ、1 2 0…D/Aコンバータ、1 3 0…送信ドライバ、1 4 0…受信機増幅器、1 7 0…MRAM、1 8 0…EEPROM、2 0 0…通信部、2 0 1…送受信アンテナ、2 0 2…アンテナ共用器、2 0 3…受信部、2 0 4…ベースバンド処理部、2 0 5…DSP、2 0 6…スピーカ、2 0 7…マイクロホン、2 0 8…送信部、2 0 9…周波数シンセサイザ、2 1 1…オーディオ再生処理部、2 1 2…外部出力端子、2 1 3…LCDコントローラ、2 1 4…LCD、2 1 5…リング、2 2 0…制御部、2 2 1…CPU、2 2 2…ROM、2 2 3…MRAM、2 2 4…フラッシュメモリ、2 2 5…バス、2 3 1, 2 3 3, 2 3 5…インターフェース回路、2 3 2…外部メモリスロット、2 3 2…スロット、2 3 4…キー操作部、2 3 6…外部入出力端子、2 4 0…外部メモリ、3 0 0…携帯電話端末、4 0 0…MRAMカード本体、4 0 1…MRAMチップ、4 0 2…開口部、4 0 3…シャッター、4 0 4…外部端子、4 5 0…MRAMカード、5 0 0…転写装置、5 1 0…挿入部、5 2 0…ストッパ、5 3 0…外部端子、5 5 0…MRAM、5 6 0…受け皿スライド。

請求の範囲

- [請求項1] 膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第1磁性層と、
膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が不変の第2磁性層と、
前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に設けられる第1非磁性層とを具備し、
前記第1磁性層は、少なくとも第1強磁性材料と第2強磁性材料とが積層された構造を有し、前記第1磁性層の磁化方向は、前記第1磁性層、前記第1非磁性層及び前記第2磁性層を貫く電流により変化し、前記第2強磁性材料の垂直磁気異方性は、前記第1強磁性材料の垂直磁気異方性より小さく、前記第1強磁性材料の膜厚は、前記第2強磁性材料の膜厚より薄いことを特徴とする磁気抵抗素子。
- [請求項2] 膜面垂直方向に磁化容易軸を有し、前記第2磁性層からの漏れ磁場を調整する第3磁性層と、前記第2磁性層と前記第3磁性層との間に設けられる第2非磁性層とをさらに具備することを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。
- [請求項3] 前記第2磁性層の飽和磁化 M_{S2} 及び膜厚 t_2 と前記第3磁性層の飽和磁化 M_{S3} 及び膜厚 t_3 は、 $M_{S2} \times t_2 < M_{S3} \times t_3$ の関係を満たし、
前記第2磁性層と前記第3磁性層の磁化方向は、互いに反平行を保つことを特徴とする請求項2に記載の磁気抵抗素子。
- [請求項4] 前記第1強磁性材料は、CoとPd、又は、CoとPtを含む合金を備え、前記合金の原子稠密面に対して優先配向されることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。
- [請求項5] 前記第2強磁性材料は、Co、Fe及びBを含む合金を備え、前記合金は $(Co_{100-x}Fe_x)_{100-y}B_y$ 、 $100 \geq x \geq 20$ at %、

$0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

[請求項6] 前記第2強磁性材料は、Co及びFeを含み、さらに、Ta、Si、Nb、V、W、Cr、Mo、Bの少なくとも1つを含む合金を備えることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

[請求項7] 前記第2強磁性材料は、立方晶構造又は正方晶構造からなり(100)面に配向した結晶粒を含むことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

[請求項8] 前記第2磁性層と前記第1非磁性層との間に設けられる界面層をさらに具備し、

前記界面層は、Co、Fe及びBを含む合金を備え、前記合金は($\text{Co}_{100-x} - \text{Fe}_x$) $_{100-y}$ B $_y$ 、 $100 \geq x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

[請求項9] 前記界面層は、立方晶構造又は正方晶構造からなり(100)面に配向した結晶粒を含むことを特徴とする請求項8に記載の磁気抵抗素子。

[請求項10] 前記第1非磁性層は、酸化マグネシウムを含むことを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

[請求項11] 前記第1強磁性材料は、CoPdであり、前記第2強磁性材料は、Taを含んだCoFeBを備え、前記第2強磁性材料の膜厚 t_2 と前記第1強磁性材料の膜厚 t_1 との比(t_2/t_1)は、3.8未満であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗素子。

[請求項12] 請求項1に記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子を挟み込み、前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第1及び第2電極とを含むメモリセルを具備することを特徴とする磁気メモリ。

[請求項13] 前記第1電極に電氣的に接続される第1配線と、
前記第2電極に電氣的に接続される第2配線と、
前記第1配線及び前記第2配線に電氣的に接続され、前記磁気抵抗

素子に前記電流を供給する書き込み回路とをさらに具備することを特徴とする請求項 1 2 に記載の磁気メモリ。

[請求項14] 前記メモリセルは、前記第 2 電極及び前記第 2 配線間に電氣的に接続される選択トランジスタを含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の磁気メモリ。

[請求項15] 膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第 1 磁性層と、
膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が不変の第 2 磁性層と、
前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に設けられる第 1 非磁性層とを具備し、
前記第 1 磁性層は、少なくとも第 1 強磁性材料と第 2 強磁性材料とが積層された構造を有し、前記第 1 磁性層の磁化方向は、前記第 1 磁性層、前記第 1 非磁性層及び前記第 2 磁性層を貫く電流により変化し、前記第 2 強磁性材料の垂直磁気異方性は、前記第 1 強磁性材料の垂直磁気異方性より小さく、前記第 1 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントは、前記第 2 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントより小さいことを特徴とする磁気抵抗素子。

補正された請求の範囲
[2010年11月19日(19.11.2010)国際事務局受理]

〔請求項 1〕 膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第 1 磁性層と、

膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が不変の第 2 磁性層と、
前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に設けられる第 1 非磁性層とを具備し、

前記第 1 磁性層は、少なくとも第 1 強磁性材料と第 2 強磁性材料とが積層された構造を有し、前記第 1 磁性層の磁化方向は、前記第 1 磁性層、前記第 1 非磁性層及び前記第 2 磁性層を貫く電流により変化し、前記第 2 強磁性材料の垂直磁気異方性は、前記第 1 強磁性材料の垂直磁気異方性より小さく、前記第 1 強磁性材料の膜厚は、前記第 2 強磁性材料の膜厚より薄い

ことを特徴とする磁気抵抗素子。

〔請求項 2〕 膜面垂直方向に磁化容易軸を有し、前記第 2 磁性層からの漏れ磁場を調整する第 3 磁性層と、前記第 2 磁性層と前記第 3 磁性層との間に設けられる第 2 非磁性層とをさらに具備することを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 3〕 前記第 2 磁性層の飽和磁化 M_{s2} 及び膜厚 t_2 と前記第 3 磁性層の飽和磁化 M_{s3} 及び膜厚 t_3 は、 $M_{s2} \times t_2 < M_{s3} \times t_3$ の関係を満たし、

前記第 2 磁性層と前記第 3 磁性層の磁化方向は、互いに反平行を保つことを特徴とする請求項 2 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 4〕 前記第 1 強磁性材料は、Co と Pd、又は、Co と Pt を含む合金を備え、前記合金の原子稠密面に対して優先配向されることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 5〕 前記第 2 強磁性材料は、Co、Fe 及び B を含む合金を備え、前記合金は $(Co_{100-x} - Fe_x)_{100-y} B_y$ 、 $100 \geq x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ であることを特徴とする請求項 1 に

記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 6〕 前記第 2 強磁性材料は、C o 及び F e を含み、さらに、T a、S i、N b、V、W、C r、M o、B の少なくとも 1 つを含む合金を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 7〕 前記第 2 強磁性材料は、立方晶構造又は正方晶構造からなり（1 0 0）面に配向した結晶粒を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 8〕 前記第 2 磁性層と前記第 1 非磁性層との間に設けられる界面層をさらに具備し、

前記界面層は、C o、F e 及び B を含む合金を備え、前記合金は $(C o_{100-x} - F e_x)_{100-y} B_y$ 、 $100 \geq x \geq 20 \text{ at } \%$ 、 $0 < y \leq 30 \text{ at } \%$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 9〕 前記界面層は、立方晶構造又は正方晶構造からなり（1 0 0）面に配向した結晶粒を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 10〕 前記第 1 非磁性層は、酸化マグネシウムを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 11〕 前記第 1 強磁性材料は、C o P d であり、前記第 2 強磁性材料は、T a を含んだ C o F e B を備え、前記第 2 強磁性材料の膜厚 t_2 と前記第 1 強磁性材料の膜厚 t_1 との比 (t_2 / t_1) は、3.8 未満であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 12〕 請求項 1 に記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子を挟み込み、前記磁気抵抗素子に対して通電を行う第 1 及び第 2 電極とを含むメモリセルを具備することを特徴とする磁気メモリ。

〔請求項 13〕 前記第 1 電極に電氣的に接続される第 1 配線と、
前記第 2 電極に電氣的に接続される第 2 配線と、

前記第 1 配線及び前記第 2 配線に電氣的に接続され、前記磁気抵抗素子に前記電流を供給する書き込み回路とをさらに具備することを特

徴とする請求項 1 2 に記載の磁気メモリ。

〔請求項 1 4〕 前記メモリセルは、前記第 2 電極及び前記第 2 配線間に電氣的に接続される選択トランジスタを含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の磁気メモリ。

〔請求項 1 5〕 膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が可変の第 1 磁性層と、

膜面垂直方向に磁化容易軸を有する磁化方向が不変の第 2 磁性層と、
前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に設けられる第 1 非磁性層とを具備し、

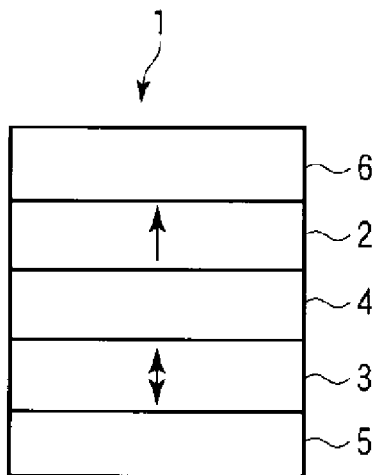
前記第 1 磁性層は、少なくとも第 1 強磁性材料と第 2 強磁性材料とが積層された構造を有し、前記第 1 磁性層の磁化方向は、前記第 1 磁性層、前記第 1 非磁性層及び前記第 2 磁性層を貫く電流により変化し、前記第 2 強磁性材料の垂直磁気異方性は、前記第 1 強磁性材料の垂直磁気異方性より小さく、前記第 1 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントは、前記第 2 強磁性材料の単位面積当たりの磁気モーメントより小さい

ことを特徴とする磁気抵抗素子。

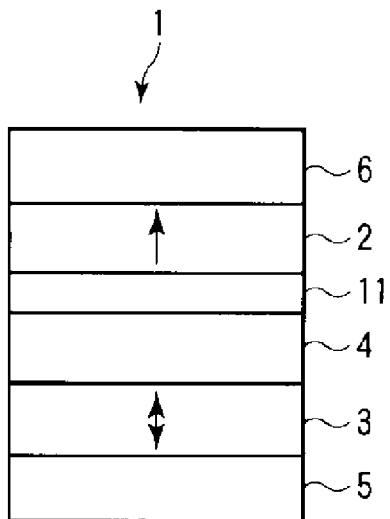
〔請求項 1 6〕（追加） 前記第 2 強磁性材料は、前記第 1 非磁性層と前記第 1 強磁性材料との間に配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気抵抗素子。

〔請求項 1 7〕（追加） 前記第 2 強磁性材料は、前記第 1 非磁性層と前記第 1 強磁性材料との間に配置されることを特徴とする請求項 1 5 に記載の磁気抵抗素子。

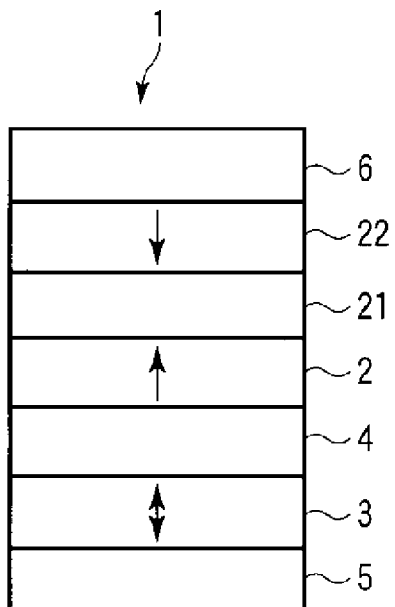
[図1]



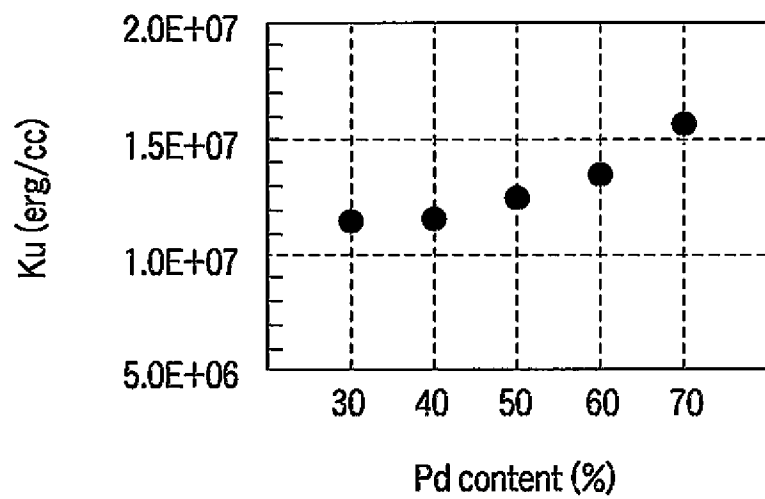
[図2]



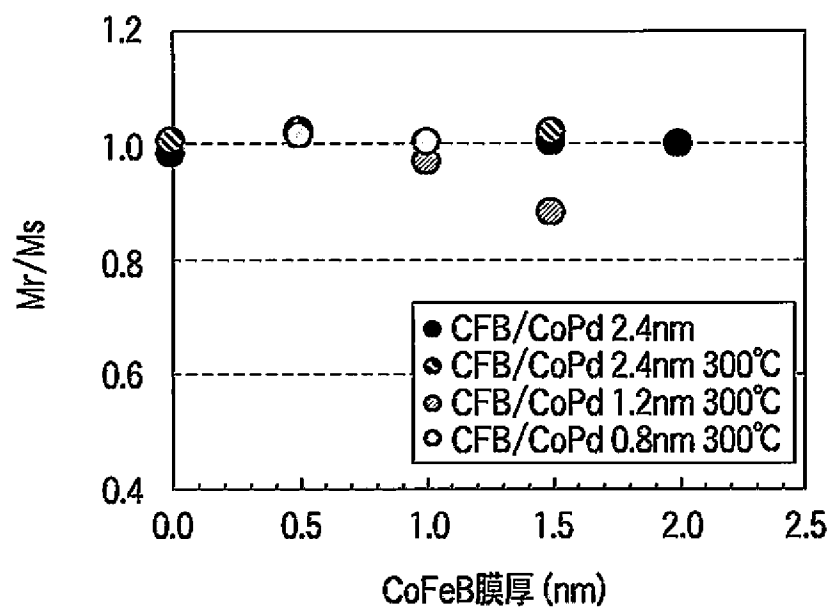
[図3]



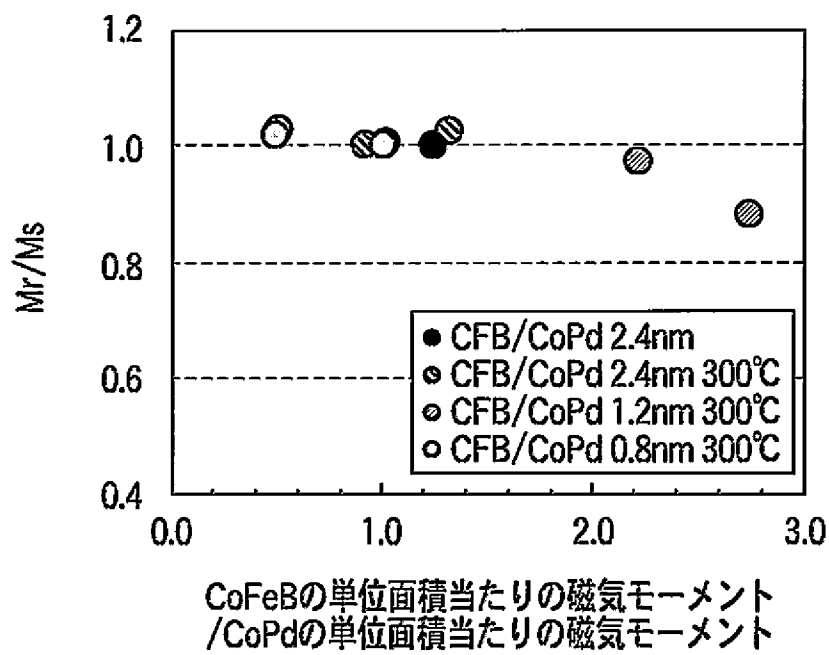
[図4]



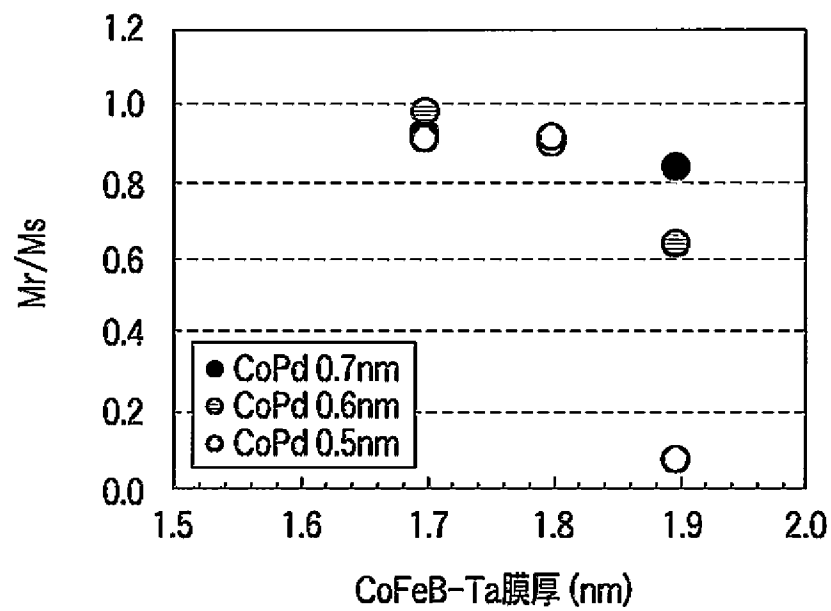
[図5]



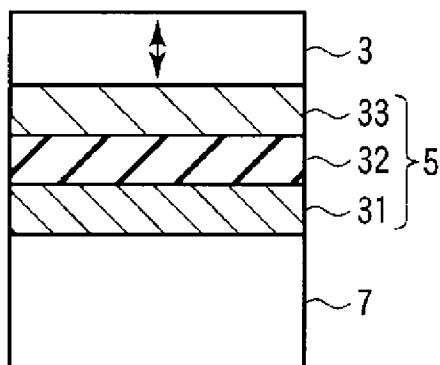
[図6]



[図7]

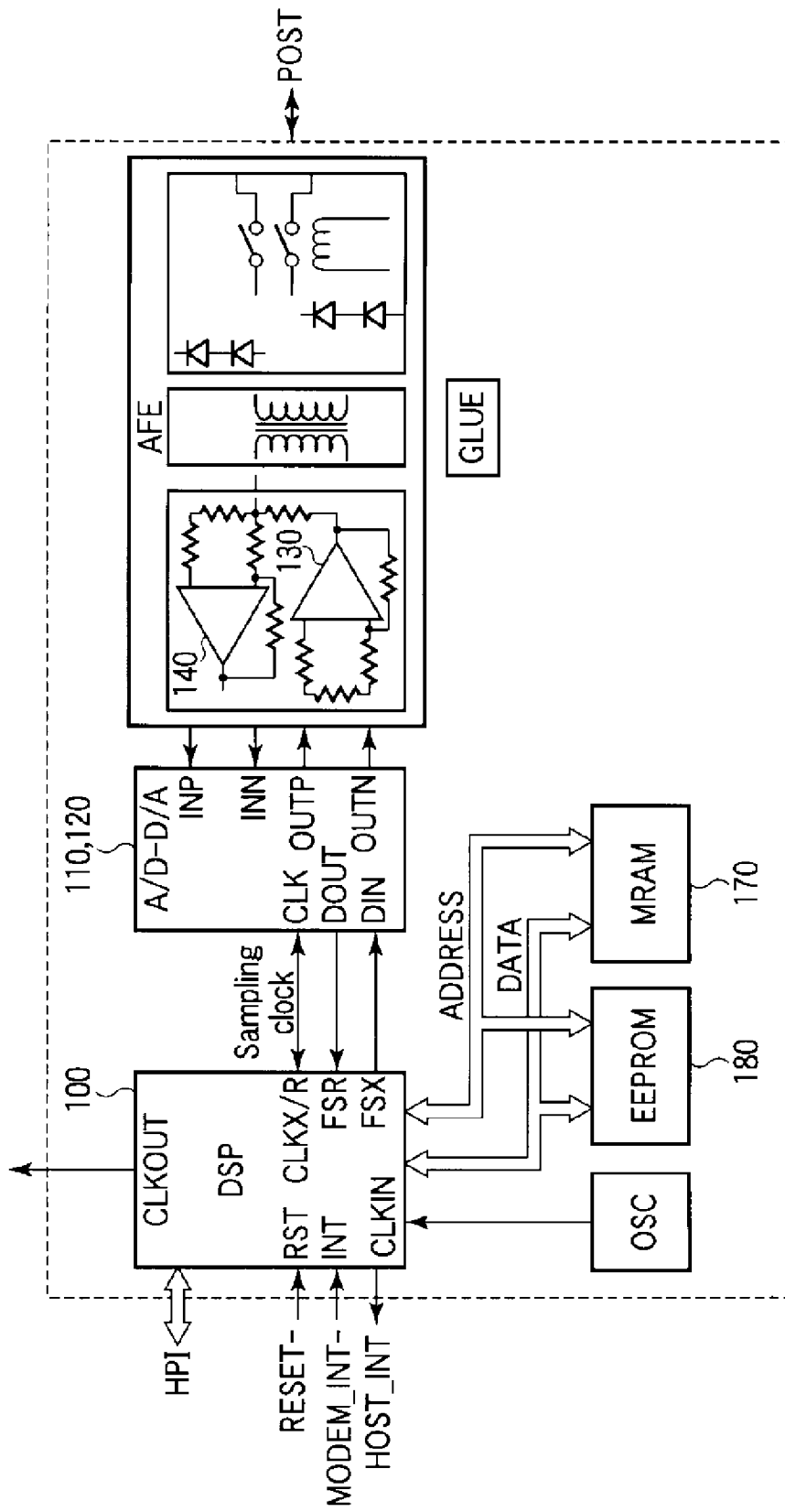


[図8]

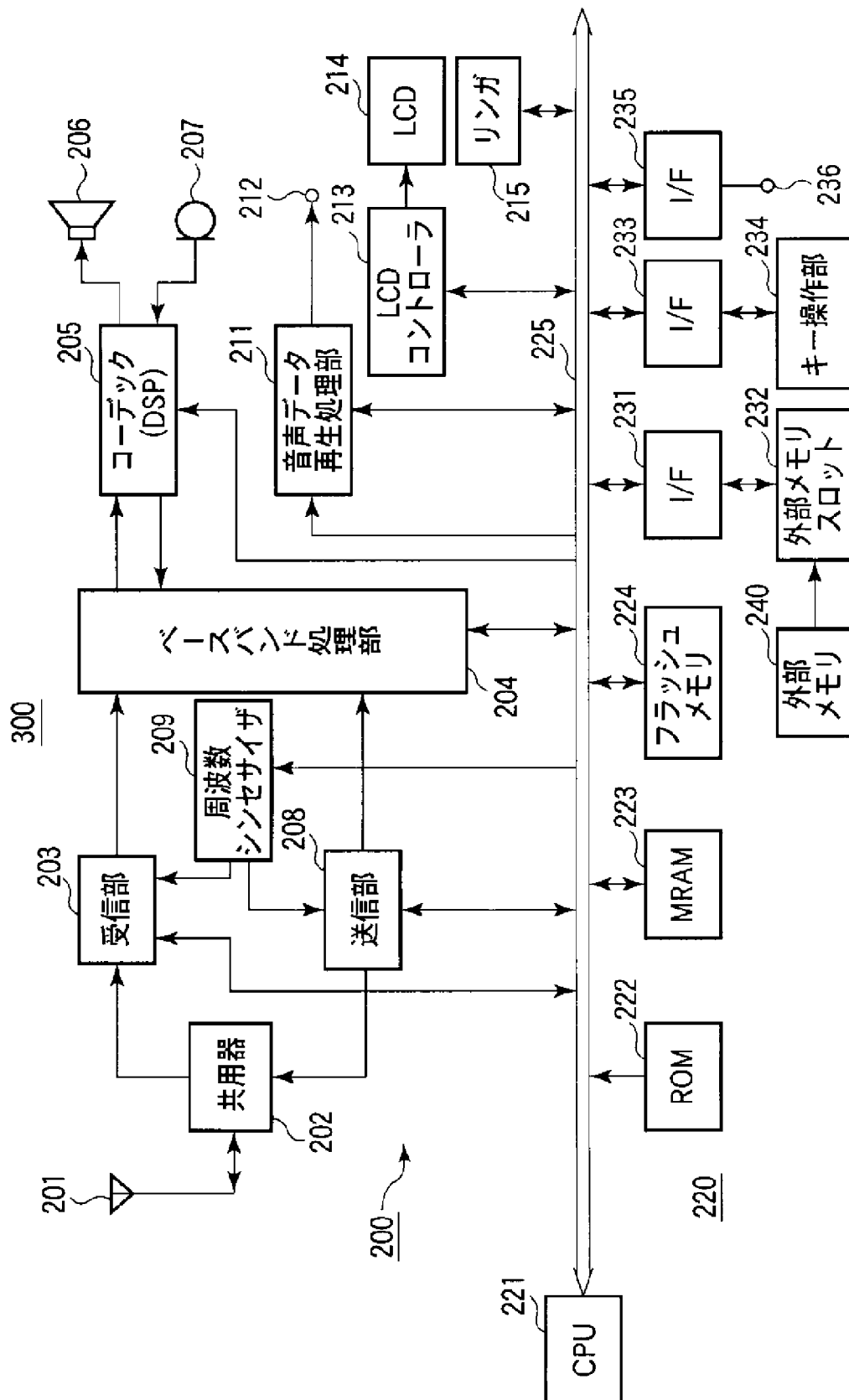


[illegible]

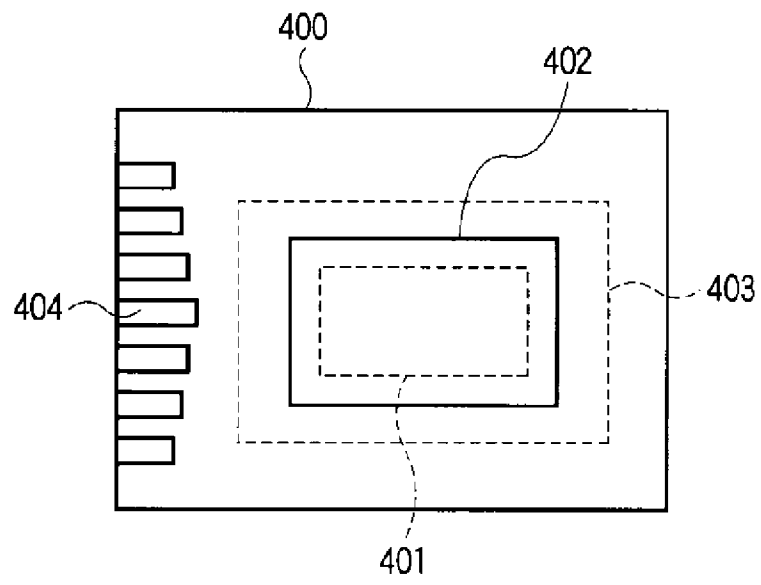
[図11]



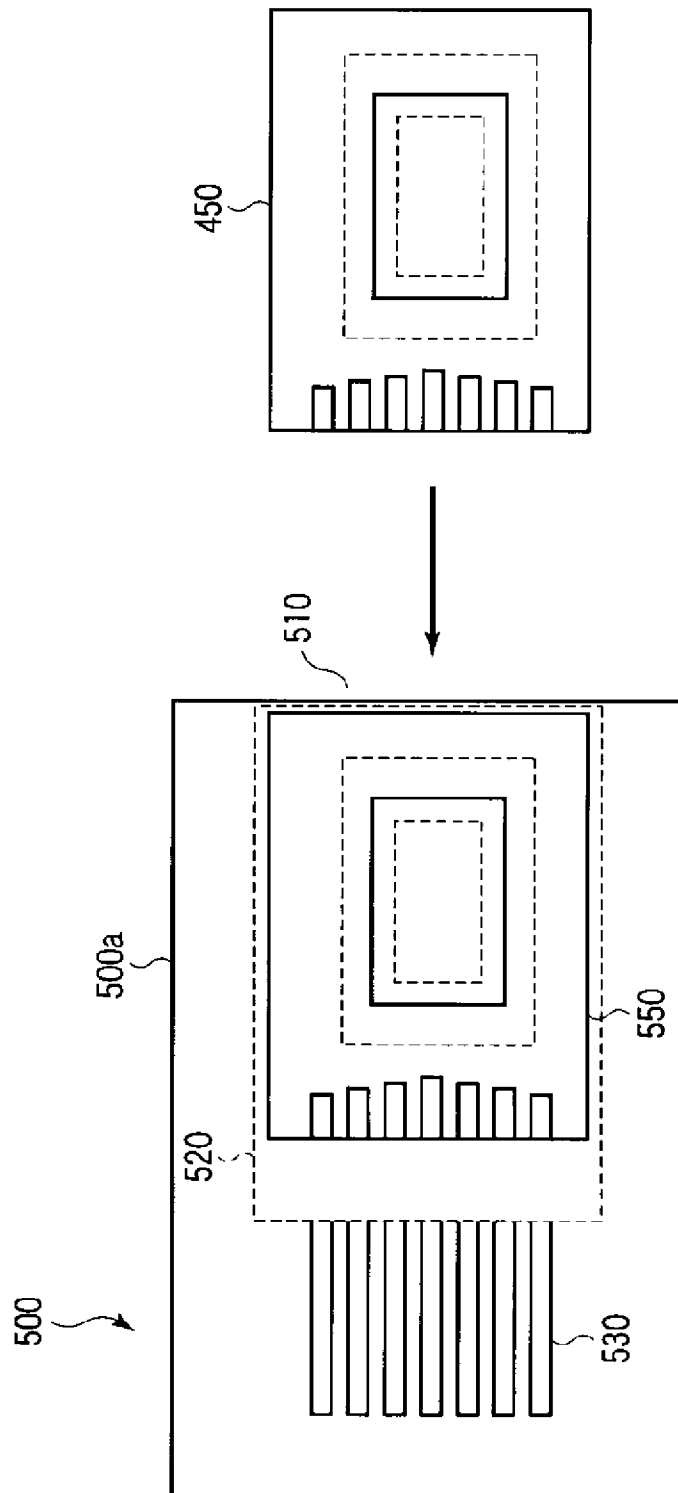
[図12]



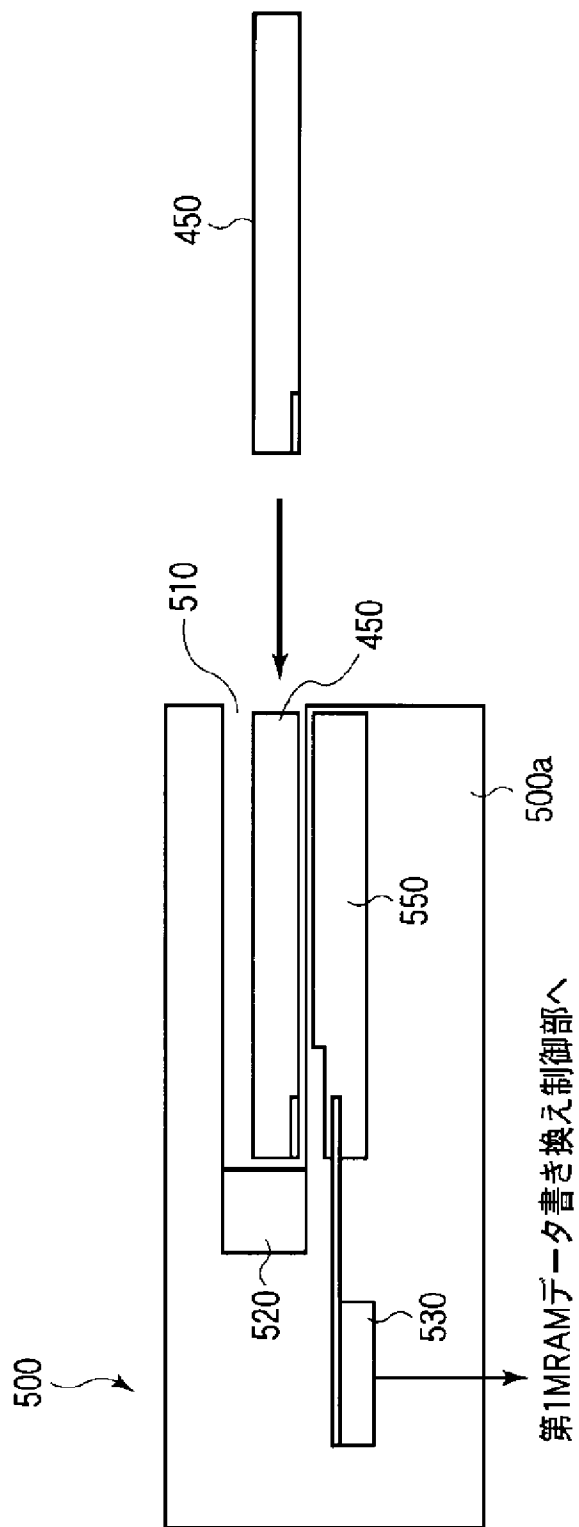
[図13]



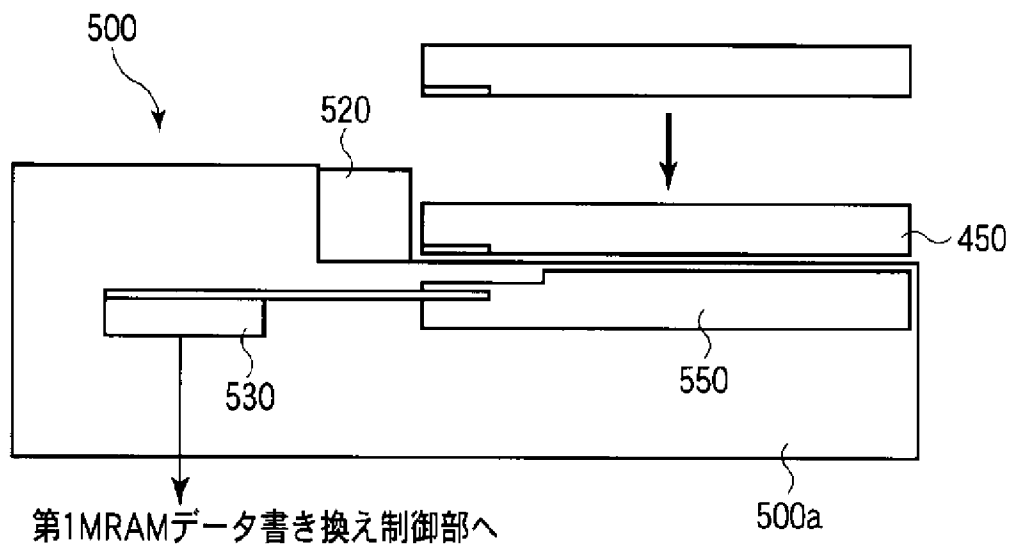
[図14]



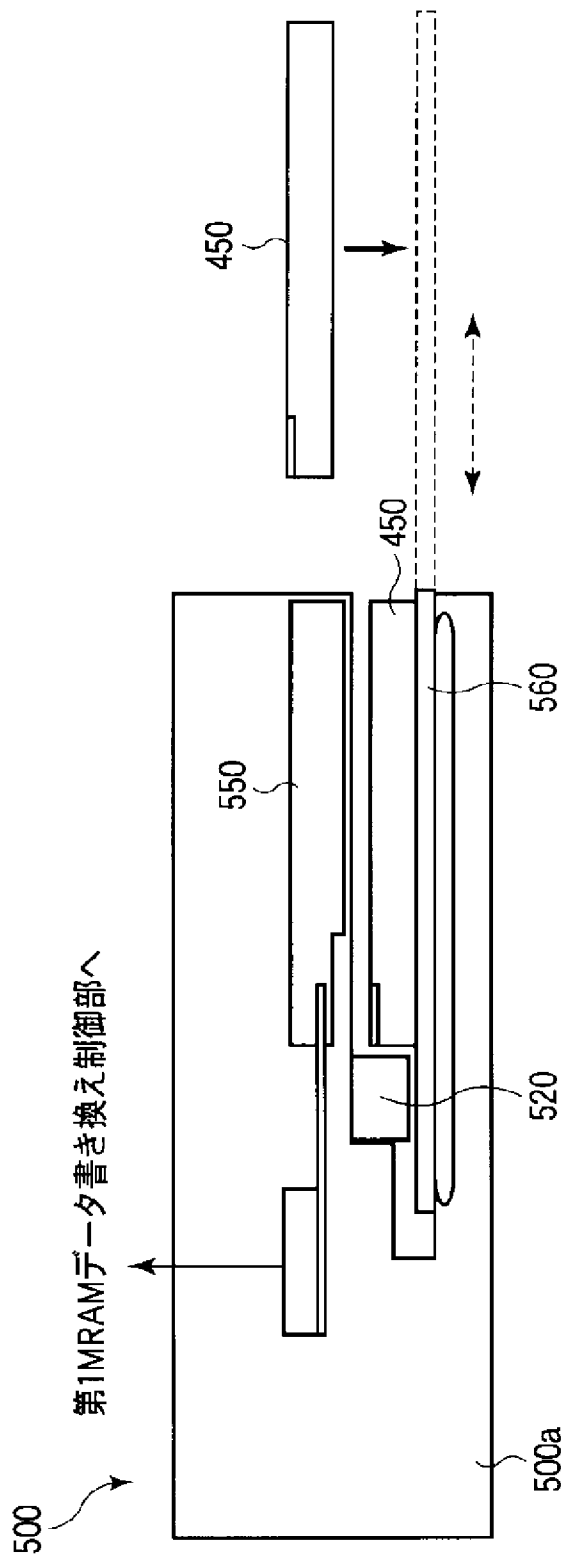
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/055938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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)

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 1996-2010

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.
Y	JP 2010-021580 A (Toshiba Corp.), 28 January 2010 (28.01.2010), paragraphs [0053] to [0086], [0143] to [0204]; fig. 3, 4, 6 & US 2007/0086121 A1 & KR 10-2007-0042891 A	1-14
Y	JP 2009-027177 A (MagIC Technologies Inc.), 05 February 2009 (05.02.2009), paragraph [0052] & US 2009/0027810 A1 & EP 2073285 A2	1-14
Y	JP 2006-165265 A (Sony Corp.), 22 June 2006 (22.06.2006), paragraphs [0090] to [0099]; fig. 3 (Family: none)	3



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

07 July, 2010 (07.07.10)

Date of mailing of the international search report

20 July, 2010 (20.07.10)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/055938

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-048790 A (Sony Corp.), 22 February 2007 (22.02.2007), paragraphs [0036] to [0048] & US 2007/0030724 A1 & CN 1967892 A	6, 11
X	JP 2007-150265 A (Toshiba Corp.), 14 June 2007 (14.06.2007), paragraphs [0045] to [0078] & US 2007/0096229 A1	15

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

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

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
Y	JP 2010-021580 A（株式会社東芝）2010.01.28, 段落【0053】～【0086】，段落【0143】～【0204】，図3，図4，図6 & US 2007/0086121 A1 & KR 10-2007-0042891 A	1-14
Y	JP 2009-027177 A（マグアイシー テクノロジーズ インコーポレ イテッド）2009.02.05，段落【0052】 & US 2009/0027810 A1 & EP 2073285 A2	1-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 7 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 0 . 0 7 . 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）

宮部 裕一

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

4 M

3 8 4 0

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 2006-165265 A (ソニー株式会社) 2006.06.22, 段落【0090】～【0099】, 図3 (ファミリーなし)	3
Y	JP 2007-048790 A (ソニー株式会社) 2007.02.22, 段落【0036】～【0048】 & US 2007/0030724 A1 & CN 1967892 A	6, 11
X	JP 2007-150265 A (株式会社東芝) 2007.06.14, 段落【0045】～【0078】 & US 2007/0096229 A1	15