

(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 2011/111473 A1

(43) 国際公開日

2011 年 9 月 15 日(15.09.2011)

PCT

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/8246 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
H01L 27/105 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/052999
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 14 日(14.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-053226 2010 年 3 月 10 日(10.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 Tokyo (JP). 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大野 英男 (OHNO Hideo) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 池田 正二 (IKEDA Shoji) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 松倉 文▲礼▼ (MATSUKURA Fumihiko) [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). 遠藤 将起 (ENDO Masaki) [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). 金井 駿 (KANAI Shun) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 三浦 勝哉 (MIURA Katsuya) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地 株式会社日立製作所 基礎研究所内 Saitama (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).

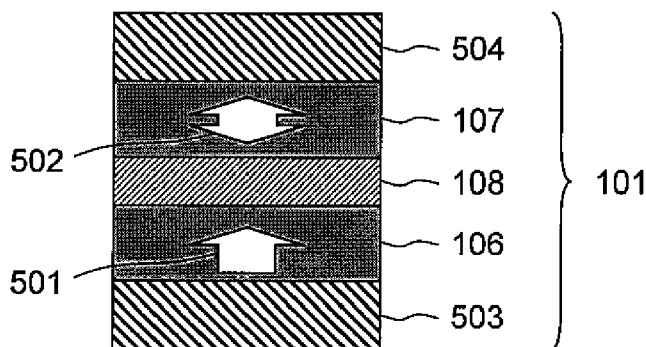
- (74) 代理人: 平木 祐輔, 外 (HIRAKI Yusuke et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門 4 丁目 3 番 2 0 号 神谷町 M T ビル 1 9 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, 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,

[続葉有]

(54) Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ

図 5



(57) Abstract: Disclosed are: a magnetoresistive element wherein the magnetization direction is stable in the direction perpendicular to the film surface and the magnetoresistance change ratio is controlled; and a magnetic memory which uses the magnetoresistive element. Specifically, a material for a ferromagnetic layer of a magnetoresistive element is configured of a Heusler alloy or a ferromagnetic material that contains at least one 3d transition metal, so that the magnetoresistance change ratio is controlled. The magnetization direction is changed from the film in-plane direction to the direction perpendicular to the film surface by controlling the film thickness of the ferromagnetic layer at the atomic layer level.

(57) 要約: 磁化方向が膜面垂直方向に安定であり、磁気抵抗変化率が制御された磁気抵抗効果素子及び、その磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリを提供する。磁気抵抗効果素子を構成する強磁性層の材料を、3d遷移金属を少なくとも1種類含んだ強磁性材料若しくはホイスラー合金で構成することで、磁気抵抗変化率を制御し、且つ、

強磁性層の膜厚を原子層レベルで制御することで磁化方向を膜面内方向から膜面垂直方向に変化させた。



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

- (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,

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磁気メモリ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子及びその磁気抵抗効果素子をメモリセルとして備えた磁気メモリに関する。

背景技術

[0002] 図1に示すように、磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）のメモリセル100は、磁気抵抗効果素子101と選択トランジスタ102が直列に電氣的に接続された構造となっている。選択トランジスタ102のソース電極はソース線103に、ドレイン電極は磁気抵抗効果素子101を介してビット線104に、ゲート電極はワード線105にそれぞれ電氣的に接続されている。磁気抵抗効果素子101は、第1の強磁性層106と第2の強磁性層107の2つの強磁性層で非磁性層108を挟んだ3層構造を基本構造とする。図示した例では、第1の強磁性層106は磁化方向が固定されていて固定層となり、第2の強磁性層107は磁化方向が可変であって記録層となる。この磁気抵抗効果素子101は、第1の強磁性層106の磁化方向と第2の強磁性層107の磁化方向が互いに平行（P状態）のとき低抵抗に、反平行（AP状態）のとき高抵抗になる。MRAMでは、この抵抗変化をビット情報の「0」と「1」に対応させる。ビット情報は、磁気抵抗効果素子101を流れる電流によるスピントルク磁化反転によって書込む。電流が固定層から記録層に流れるとき、記録層の磁化は固定層の磁化に対して反平行になり、ビット情報は「1」となる。電流が記録層から固定層に流れるとき、記録層の磁化は固定層の磁化に対して平行になり、ビット情報は「0」となる。電流による磁化反転の速さは1ナノ秒程度であるため、MRAMは非常に高速な書込みが可能である。また、記録層の磁化の向きによってビット情報を記録するため、MRAMは不揮発性を有し、待機時電力消費を抑えることができる。このため、MRAMは次世代のメモリとして期待されている。

[0003] また、図 1 では磁気抵抗効果素子 101 の第 1 の強磁性層 106 が固定層、第 2 の強磁性層 107 が記録層の場合を示したが、磁気抵抗効果素子 101 の第 1 の強磁性層 106 を磁化方向が可変な記録層とし、第 2 の強磁性層 107 を磁化方向が固定されている固定層としても、同様に MRAM として動作する。この場合でも、電流が固定層から記録層に流れるとき、記録層の磁化は固定層の磁化に対して反平行になり、ビット情報は「1」となる。電流が記録層から固定層に流れるとき、記録層の磁化は固定層の磁化に対して平行になり、ビット情報は「0」となる。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献 1: S. MANGIN, D. RAVELOSONA, J. A. KATINE, M. J. CAREY, B. D. TERRIS and ERIC E. FULLERTON, “Current-induced magnetization reversal in nanopillars with perpendicular anisotropy”, Nature Mater. 5, 210 (2006).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] MRAM を実現するためには課題があり、その主なものとして、記録素子である磁気抵抗効果素子の磁気抵抗変化率（MR 比）、書込み電流密度、熱安定性定数の 3 つの特性が満たさなければならない条件がある。これらの条件は、MRAM の集積度、最小加工寸法、動作速度などによって異なる。例えば、読出しが高速になるほど磁気抵抗変化率は高い値が必要となる。MRAM を混載メモリとするか単体メモリとするかで異なるが、一般的には 50 % から 100 % 以上の高い磁気抵抗変化率が必要とされる。また、書込みの高速化及び低消費電力化のため、 $2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ 以下の書込み電流密度が必要である。さらに、10 年以上の記録保持時間及び誤書き込み防止のため 80 以上の熱安定性定数が必要とされる。

[0006] 高い磁気抵抗変化率を得るために、第 1 の強磁性層 106 及び第 2 の強磁

性層 107 に 3d 遷移金属元素を含む材料と、第 1 の非磁性層の MgO を用いた構成が知られている。この場合、3d 遷移金属元素を含む材料が、熱処理を施すことによって bcc 構造に結晶化するほうが望ましい。これは、3d 遷移金属元素を含む材料が bcc 構造の場合、MgO とのコヒーレントな伝導を実現するため磁気抵抗変化率が大きくなりやすいという利点があるからである。この場合、第 1 の強磁性層 106 及び第 2 の強磁性層 107 の磁化方向は、図 1 のように膜面に対して平行方向になる。一方、非特許文献 1 のように、Co と Pt、Ni と Pt などの多層膜や、FePt、TbTeCo などの合金に代表される垂直磁気異方性材料を第 1 の強磁性層 106 及び第 2 の強磁性層 107 に用いた場合、低い書込み電流密度と高い熱安定性定数を実現できるとされている。これは、第 1 の強磁性層 106 及び第 2 の強磁性層 107 の磁化方向が膜面に対して垂直方向になることに起因する。しかし、これらの垂直磁気異方性材料と MgO の組合せの場合、磁気抵抗変化率が小さくなってしまう。このため、現状は MgO と垂直磁気異方性材料の間に、膜面に対して平行な磁化を持ち bcc 構造である 3d 遷移金属元素を含む材料を挿入し、MR 比を高くするなどの方法が試されている。しかし、この方法では構造は複雑になり、3d 遷移金属元素を含む材料の磁化方向の制御や磁気抵抗変化率が予想されるほど高くないなどの課題が残っている。

課題を解決するための手段

- [0007] 上述の課題を解決するために、図 1 の磁気抵抗効果素子を構成する第 1 の強磁性層 106 及び第 2 の強磁性層 107 の少なくともどちらか一方に用いる材料を、Co、Fe などの 3d 遷移金属を少なくとも 1 種類含んだ材料、若しくは Co_2MnSi などに代表されるホイスラー合金のようなダンピング定数の小さい強磁性層で構成することで磁気抵抗変化率を制御することとした。通常、Co、Fe などの 3d 遷移金属を少なくとも 1 種類含み、且つ、bcc 構造になる材料で磁気抵抗効果素子を作製した場合、強磁性層の磁化方向は膜面に対して平行な方向を向くが、本発明者らは、強磁性層の膜厚を

3 nm以下に制御して磁化方向を膜面に対して垂直にすることによって低い書き込み電流密度と高い熱安定性定数を実現する技術を開発した。

[0008] 図2に示したのは、強磁性層にC o F e Bを用いた例において、磁化方向が膜面に対して垂直になるために必要な膜厚を、製造工程に含まれる熱処理工程の温度に対して示したものである。ここで熱処理を行った時間は1時間であった。図中の白丸は膜厚の上限を、黒丸は下限を表している。図のように、熱処理温度に対応して、磁化方向が膜面に対して垂直になるC o F e Bの膜厚範囲は変化する。また、この材料を用いた場合、図2からわかるように熱処理を施していない場合でも、磁化方向は膜面に対しても垂直になる。熱処理を施していない場合は、C o F e Bは非晶質である。非晶質である場合は、後述のように抵抗変化率が小さくなる欠点があるが、磁化の大きさが小さいという利点がある。

[0009] 図2の例はC o F e Bに対するものであり、他の3 d遷移金属を少なくとも1種類含んだ材料に対しては、磁化方向が膜面に対して垂直になるために必要な膜厚と熱処理温度の関係は図2と異なる場合があるが、材料に適した膜厚に制御することにより磁化方向を膜面に対して平行から垂直に変化させることが可能である。このように磁化方向が膜面に対して垂直になる原因は、C o F e Bの界面における特殊な異方性の変化だと考えられる。C o F e Bの膜厚を原子層レベルに制御して薄膜化することによって、C o F e B層の体積に対して界面の効果が及ぶ体積の割合を増大することができる。このため、界面の特殊な異方性の効果が顕著に現れ、磁化方向が膜面に対して垂直になる。特に、M g O, A l₂O₃, S i O₂などに代表される酸素を含む化合物と、C o, F eなどの3 d遷移金属を少なくとも1種類含む強磁性材料の界面にこのような効果が大きく表れ、磁化が膜面垂直方向に向き易くなる傾向があると考えられる。

[0010] 一方、図3は、例として第1の強磁性層106と第2の強磁性層107にC o F e Bを用いた場合の磁気抵抗効果素子の磁気抵抗変化率を、熱処理時の温度に対して示したものである。熱処理温度が大きくなるとともに、磁気

抵抗変化率は大きくなる。従って、この例では、例えば70%の磁気抵抗変化率を得るためにはおよそ250℃で熱処理を行えばよいし、100%の磁気抵抗変化率を得るためには300℃で熱処理を行えばよい。このとき、熱処理温度を300℃として膜面に垂直な磁化方向を持つ磁気抵抗効果素子を得るには、図2を参照すると第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107の膜厚を1.0nmから1.6nm程度に制御すればよい。

[0011] 他の材料を用いた場合でも、熱処理温度と磁気抵抗変化率の関係を調査しておくことによって、所望の磁気抵抗変化率が得られ、且つ、磁化方向が膜面に対して垂直方向を向いている磁気抵抗効果素子を作製することが可能である。図4は第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107の材料としてCoFeB、非磁性層108としてMgOを用いた場合の、膜面に対して垂直方向に印加した磁場に対する磁気抵抗効果素子の抵抗変化を示している。この例では、熱処理温度を300℃とした。実験結果から、磁化方向は膜面に対して垂直を向いていることがわかる。また、このときの磁気抵抗変化率は100%であった。

発明の効果

[0012] 本発明を適用することによって、磁気抵抗変化率が大きく、且つ、膜面に対して垂直な磁化方向を持つ磁気抵抗効果素子を容易に作製することができる。また、磁気抵抗変化率を制御したい場合、熱処理温度を制御するとともに、非磁性層を挟んで形成される第1の強磁性層及び第2の強磁性層の膜厚を調整することにより膜面に対して垂直な磁化方向を維持した磁気抵抗効果素子を作製することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]磁気メモリのメモリセル基本構造を示す模式図。

[図2]第1の強磁性層及び第2の強磁性層にCoFeBを用いた場合の、熱処理工程の温度に対する、磁気抵抗効果素子の磁化方向が膜面に対して垂直になるために必要な膜厚の変化を示す図。

[図3]第1の強磁性層及び第2の強磁性層にCoFeBを用いた場合の、熱処

理工程の温度に対する、磁気抵抗効果素子の磁気抵抗変化率の変化を示す図。

[図4] 第1の強磁性層及び第2の強磁性層にC o F e Bを用いた場合の、膜面垂直方向の磁場印加に対する磁気抵抗効果素子の抵抗変化を示す図。

[図5] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図6] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図7] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図8] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図9] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図10] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図11] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図12] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図13] 本発明による磁気抵抗効果素子の例を示す断面模式図。

[図14] 本発明による磁気メモリの例を示す概念図。

発明を実施するための形態

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

[0015] <実施例1>

本発明の一観点によると、磁気抵抗効果素子101は、図5に示すように、磁化方向が固定されている第1の強磁性層106と、磁化方向が可変である第2の強磁性層107と、第1の強磁性層と第2の強磁性層の間に電氣的に接続された非磁性層108を備える。第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107の材料は、C o, F eなどの3d遷移金属元素を少なくとも1種類含む強磁性材料若しくはC o₂M n S iなどに代表されるホイスラー合金が望ましく、非磁性層108の材料はM g O, A l₂O₃, S i O₂などの酸素を含む化合物やC uなどの金属などが候補であり、磁気抵抗変化率が大きくなる材料が望ましい。実施例1では、第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107の材料がC o F e Bであり、非磁性層108がM g Oである場合を

例として説明する。

[0016] 図2に示したように、第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107の膜厚を1.0nmから1.6nm程度に制御することによって、熱処理温度が300℃のとき、第1の強磁性層106の磁化501及び第2の強磁性層107の磁化502は膜面に対して垂直になる。図3に示したように、このときの磁気抵抗変化率は100%以上を達成している。図5の例では、磁化方向が膜面に対して垂直になる範囲内で、第1の強磁性層106と第2の強磁性層107に膜厚差をつけることにより保磁力差をつけ、第1の強磁性層106を固定層とし、第2の強磁性層107を記録層とした。一例として、第1の強磁性層106は膜厚を1.0nmとし、第2の強磁性層107の膜厚は1.2nmとした。この例の場合には、膜厚の薄い方の強磁性層106が固定層として機能した。勿論、第1の強磁性層106を記録層とし、第2の強磁性層107を固定層とするように膜厚を調整してもよい。

[0017] また、図5の例では固定層である第1の強磁性層106の磁化方向は上向きであるが、下向きに固定されていてもよい。また、第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107のうち少なくとも一方を、熱処理温度と膜厚を制御することで磁化方向が膜面に対して平行方向から垂直方向に変化する強磁性体によって構成し、他方はCoとPt、NiとPtなどの多層膜や、FePt, TbTeCo合金などの従来から知られている別の垂直磁気異方性材料で構成してもよい。

[0018] 図6には、第1の強磁性層106に従来から知られた垂直異方性材料であるFePtを用いて固定層とし、第2の強磁性層107には、CoFeBを用いた場合の例を示した。この場合、記録層と固定層の材料が異なるので、容易に保磁力差をつけることができる。このときの熱処理温度は、CoFeBを用いた磁気抵抗効果素子の抵抗変化率を参考にすればよく、例えば100%の抵抗変化率を得たい場合には300℃とすればよい。さらに、CoFeBの場合は、300℃で熱処理を行う場合、膜厚を1.0nmから1.6nmとすることによって磁化方向を膜面に対して垂直な方向にすることがで

きる。また、第1の強磁性層107と非磁性層108の間にCo, Feなどの3d遷移金属を少なくとも1種類含む強磁性体若しくはホイスラー合金を材料とした層を新たに挿入してもよい。

[0019] 磁気抵抗効果素子101は、下地層503及びキャップ層504を備えた構造であってもよい。下地層503は、磁気抵抗効果素子101を作製する下地となる層であるため、表面粗さが小さいことが必要であり、例として、Ta, Ruを用いることができる。Ta/Ru/Taなどの多層構造であってもよい。また、下地層に配向制御層としての効果を持たせてもよい。特に、第1の強磁性層106に、上で述べたFePtなどの従来から知られている垂直異方性材料を用いる場合は、配向制御の必要性が高い。キャップ層504は磁気抵抗効果素子を保護する目的も備えており、例としてMgO, Ru, Taなどを用いることができる。キャップ層504も、Ta/Ruなどの多層構造であってもよい。

[0020] <実施例2>

本発明の別の観点によると、磁気抵抗効果素子は、記録層として作用する第2の強磁性層107の、非磁性層108と反対側の界面702に第2の非磁性層701を形成した構造であってもよい。図7に実施例2の磁気抵抗効果素子の断面模式図を示す。

[0021] 実施例1の磁気抵抗効果素子では、第2の強磁性層107の磁化を膜面垂直方向にするための界面効果は、第2の強磁性層107と非磁性層108の界面703でのみ生じたが、実施例2の磁気抵抗効果素子101では、第2の強磁性層107と第2の非磁性層701の界面702でも界面効果が生じる。このため、実施例1の磁気抵抗効果素子と比べて、実施例2の磁気抵抗効果素子では、第2の強磁性層107の磁化方向が膜面垂直方向に強く向き、熱安定性定数を大きくすることができる。このとき、第2の強磁性層107の膜厚は、磁化が膜面垂直方向に向き、界面効果が最大になるよう制御されており、実施例1の構成における第2の強磁性層107の膜厚と異なっている場合がある。図7の例として、第1の強磁性層106及び第2の強磁性

層 107 に CoFeB 、非磁性層 108 及び非磁性層 701 に MgO を用いた。この場合の熱処理温度を 300°C とした結果、 100% を超える抵抗変化率が得られた。また、この例では第 2 の強磁性層 107 の膜厚は 1.2 nm とすることで、磁化方向は膜面に対して垂直になった。第 2 の非磁性層 701 の材料は、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 などの酸素を含む化合物や Cu などの金属などの候補があり、第 2 の強磁性層 107 の磁化方向を垂直に向かせるための界面効果が大きくなる材料を選択するのが望ましい。

[0022] <実施例 3>

本発明のさらに別の観点によると、磁気抵抗効果素子の記録層は、非磁性層 108 と接する面から強磁性層と非磁性層を交互に積層させた構造であってもよい。記録層として強磁性層／非磁性層／強磁性層／非磁性層と 4 層を積層させた場合の断面模式図を例として図 8 に示した。ここで、実施例 3 の磁気抵抗効果素子において、記録層は 3 層以上の積層構造であればよい。

[0023] この構造を採用することによって、強磁性層と非磁性層の界面の数が増えるため記録層 801 の磁化方向が垂直に向くための界面効果が大きく生じ、実施例 2 の磁気抵抗効果素子と比べてより熱安定性定数を大きくすることができる。また、記録層 801 を構成する強磁性層部分の全体積が大きくなることも、熱安定性定数の増大に寄与する。記録層 801 を構成する強磁性層の材料は Co 、 Fe などの 3d 遷移金属元素を少なくとも 1 種類含む強磁性材料若しくはホイスラー合金が望ましく、記録層 801 を構成する非磁性層の材料には MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 などの酸素を含む化合物や Cu などの金属などの候補があり、記録層 801 の磁化方向を垂直に向かせるための界面効果が大きくなる材料を選択するのが望ましい。また、記録層 801 を構成する強磁性層の磁化が膜面垂直方向に向き、界面効果が最大になるよう制御される必要があり、実施例 1 若しくは実施例 2 の構成における第 2 の強磁性層 107 の膜厚と異なっている場合がある。

[0024] 図 8 に示した例では、記録層 801 を構成する強磁性層 802、804 の材料を CoFeB とし、記録層 801 を構成する非磁性層 803、805 の

材料をMgOとした。この例では、熱処理温度を300℃として100%の抵抗変化率を得ることができた。また、このときの記録層801を構成する強磁性層802、804の膜厚をそれぞれ1.2nmとすることで、磁化方向は膜面に対して垂直になった。さらに、記録層801を構成する強磁性層802と強磁性層804の磁化は、互いに平行若しくは反平行に配置することができ、間に介在する非磁性層803の膜厚を変更することでこの配置を制御する。また、記録層801を構成する非磁性層803の材料がRu, Rh, Vなどの元素を少なくとも1種類含む非磁性体であってもよい。この場合、強磁性層802と強磁性層804の間に交換結合が働くため、非磁性層803の膜厚を制御することによって、強磁性層802と強磁性層804の磁化方向を平行若しくは反平行に容易に変更することができる。

[0025] <実施例4>

本発明の別の観点によると、磁気抵抗効果素子は、固定層として作用する第1の強磁性層106の、非磁性層108と反対側の界面903に第2の非磁性層901を形成した構造であってもよい。図9に実施例4の磁気抵抗効果素子の断面模式図を示す。

[0026] 実施例1の磁気抵抗効果素子では、第1の強磁性層106の磁化を膜面垂直方向にするための界面効果は、第1の強磁性層106と非磁性層108の界面902でのみ生じたが、実施例4の磁気抵抗効果素子では第1の強磁性層106と第2の非磁性層901の界面903でも界面効果が生じる。このため、実施例1の磁気抵抗効果素子と比べて、実施例4の磁気抵抗効果素子では、第1の強磁性層106の磁化方向が膜面垂直方向に強く向き、熱安定性定数を大きくすることができる。このとき、第1の強磁性層106の膜厚は、磁化が膜面垂直方向に向き、界面効果が最大になるよう制御されており、実施例1の構成における第1の強磁性層106の膜厚と異なっている場合がある。

[0027] 図9の構造の例として、第1の強磁性層106及び第2の強磁性層107にCoFeB、非磁性層108及び非磁性層901にMgOを用いた。熱処

理温度を300℃とした結果、100%を超える抵抗変化率が得られた。また、この例では第1の強磁性層106の膜厚は1.0nmとすることで、磁化方向は膜面に対して垂直になった。第2の非磁性層901の材料には、MgO、Al₂O₃、SiO₂などの酸素を含む化合物やCuなどの金属などの候補があり、第1の強磁性層106の磁化方向を垂直に向かせるための界面効果が大きくなる材料を選択するのが望ましい。

[0028] <実施例5>

本発明の別の観点によると、磁気抵抗効果素子の固定層1001は、非磁性層108と接する面から強磁性層と非磁性層を交互に積層させた構造であってもよい。固定層1001として強磁性層／非磁性層／強磁性層／非磁性層と4層を積層させた場合の断面図を例として図10に示した。ここで、実施例5の磁気抵抗効果素子において、固定層は3層以上の積層構造であればよい。

[0029] この構造を採用することによって、強磁性層と非磁性層の界面の数が増えるため固定層1001の磁化方向が垂直に向くための界面効果が大きく生じ、固定層1001を構成する強磁性層部分の全体積が大きくなるため、磁化方向は膜面に対して垂直方向に安定化する。固定層1001を構成する強磁性層1002、1004の材料は、Co、Feなどの3d遷移金属元素を少なくとも1種類含む強磁性材料若しくはホイスラー合金が望ましく、固定層1001を構成する非磁性層1003、1005の材料には、MgO、Al₂O₃、SiO₂などの酸素を含む化合物やCuなどの金属などの候補があり、固定層1001の磁化方向を垂直に向かせるための界面効果が大きくなる材料を選択するのが望ましい。また、固定層1001を構成する強磁性層の磁化が膜面垂直方向に向き、界面効果が最大になるよう制御される必要があり、実施例1若しくは実施例4の構成における第1の強磁性層106の膜厚と異なっている場合がある。

[0030] 図10に示した構成の例では、固定層1001を構成する強磁性層1002、1004の材料をCoFeBとし、固定層1001を構成する非磁性層

1003, 1005の材料をMgOとした。この例では、熱処理温度を300℃として100%の抵抗変化率を得ることができた。また、このときの固定層1001を構成する強磁性層1002, 1004の膜厚は、それぞれ1.0nmとすることで、磁化方向は膜面に対して垂直になった。さらに、固定層1001を構成する強磁性層1002と強磁性層1004の磁化は、互いに平行若しくは反平行に配置することができ、間に介在する非磁性層1003の膜厚を変更することでこの配置を制御する。また、固定層1001を構成する非磁性層1003の材料がRu, Rh, Vなどの元素を少なくとも1種類含む非磁性体であってもよい。この場合、強磁性層1002と強磁性層1004の磁化の間に交換結合が働くため、非磁性層1003の膜厚を制御することによって、強磁性層1002と強磁性層1004の磁化方向を平行若しくは反平行に容易に変更することができる。

[0031] <実施例6>

本発明の別の観点によると、磁気抵抗効果素子は、固定層1101として第1の強磁性層106の非磁性層108と反対側の界面に形成された非磁性層1103を備え、且つ、記録層1102として第2の強磁性層107の非磁性層108と反対側の界面に形成された非磁性層1104を備えた構造であってもよい。図11に実施例6の磁気抵抗効果素子の断面模式図を示す。この構成を採用することにより、固定層及び記録層がともに膜面に対して垂直方向に安定化する。

[0032] <実施例7>

本発明の別の観点によると、磁気抵抗効果素子は、固定層1201として、非磁性層108と接する面から強磁性層と非磁性層を交互に積層した構造を備え、且つ、記録層1202として、非磁性層108と接する面から強磁性層と非磁性層を交互に積層した構造を備えた構成としてもよい。固定層1201として、非磁性層108側から順に強磁性層1203／非磁性層1204／強磁性層1205／非磁性層1206と4層を積層し、記録層1202として非磁性層108側から順に強磁性層1210／非磁性層1209／

強磁性層 1208 / 非磁性層 1207 と 4 層を積層した場合の断面模式図を例として図 12 に示した。この構成を採用することにより、固定層及び記録層がともに膜面に対して垂直方向に安定化する。

[0033] <実施例 8>

本発明の別の観点によると、磁気抵抗効果素子において、図 3 の断面模式図に示すように、固定層 106 の非磁性層 108 と反対側の界面に反強磁性層 1301 を形成した構成としてもよい。この構成を採用すると、固定層 106 の磁化方向が膜面に対して垂直方向に安定化する。

[0034] <実施例 9>

本発明の別の観点によると、実施例 1～8 の磁気抵抗効果素子を記録素子として採用することで MRAM を実現することができる。本発明の MRAM は、図 14 に示すように、互いに平行に配置された複数のビット線 104 と、ビット線 104 と平行に配置され、且つ、互いに平行に配置された複数のソース線 103 と、ビット線 104 と垂直に配置され、且つ、互いに平行な複数のワード線 105 を備え、ビット線 104 とワード線 105 の各交点にはメモリセル 100 が配置される。メモリセル 100 は、実施例 1～8 の磁気抵抗効果素子 101 と選択トランジスタ 102 を備えている。これら複数のメモリセル 100 がメモリアレイ 1401 を構成している。ビット線 104 は、磁気抵抗効果素子 101 を介して選択トランジスタ 102 のドレイン電極に電氣的に接続されており、ソース線 103 は配線層を介して選択トランジスタ 102 のソース電極に電氣的に接続されている。また、ワード線 105 は選択トランジスタ 102 のゲート電極に電氣的に接続されている。ソース線 103 とビット線 104 の一端は、電圧印加のためのライトドライバ 1402 とセンス増幅器 1403 に電氣的に接続されている。ワード線 105 の一端はワードドライバ 1404 に電氣的に接続されている。

[0035] 「0」書込み動作では、ライトドライバ 1402 からビット線 104 に電圧を印加するとともに、ワードドライバ 1404 からワード線 105 に電圧を印加することによって、ビット線 104 から磁気抵抗効果素子 101 を介

してソース線 103 に電流を流す。このとき、磁気抵抗効果素子 101 の構成が図 6 のように、第 1 の強磁性層 106 が固定層であり第 2 の強磁性層 107 が記録層である場合、磁気抵抗効果素子 101 は低抵抗になり磁気抵抗効果素子 101 が保持する情報は「0」になる。一方、「1」書込み動作では、ライトドライバ 1402 にからソース線 103 に電圧を印加するとともに、ワードドライバ 1404 からワード線 105 に電圧を印加することによって、ソース線 103 から磁気抵抗効果素子 101 を介してビット線 104 に電流を流す。このとき、磁気抵抗効果素子 101 は高抵抗になり磁気抵抗効果素子 101 が保持する情報は「1」になる。読出し時は、センス増幅器 1403 を用いて抵抗変化による信号の違いを読取る。このような構成のメモリアレイを採用することで、磁気抵抗変化率が大きく、書込み電流密度が小さく、熱安定性定数が大きくなり、MRAM は不揮発なメモリとして動作することができる。

符号の説明

- [0036] 100 磁気メモリのメモリセル
- 101 磁気抵抗効果素子
- 102 選択トランジスタ
- 103 ソース線
- 104 ビット線
- 105 ワード線
- 106 第 1 の強磁性層
- 107 第 2 の強磁性層
- 108 非磁性層
- 501 磁化
- 502 磁化
- 503 下地層
- 504 キャップ層
- 701 第 2 の非磁性層

- 8 0 1 記録層
- 8 0 2 強磁性層
- 8 0 3 非磁性層
- 8 0 4 強磁性層
- 8 0 5 非磁性層
- 9 0 1 非磁性層
- 1 0 0 1 固定層
- 1 0 0 2 強磁性層
- 1 0 0 3 非磁性層
- 1 0 0 4 強磁性層
- 1 0 0 5 非磁性層
- 1 1 0 1 固定層
- 1 1 0 2 非磁性層
- 1 1 0 3 記録層
- 1 1 0 4 非磁性層
- 1 2 0 1 固定層
- 1 2 0 2 記録層
- 1 2 0 3 強磁性層
- 1 2 0 4 非磁性層
- 1 2 0 5 強磁性層
- 1 2 0 6 非磁性層
- 1 2 0 7 非磁性層
- 1 2 0 8 強磁性層
- 1 2 0 9 非磁性層
- 1 2 1 0 強磁性層
- 1 3 0 1 反強磁性層
- 1 4 0 1 メモリアレイ
- 1 4 0 2 ライトドライバ

1 4 0 3 センス増幅器

1 4 0 4 ワードドライバ

請求の範囲

[請求項1]

磁化方向が固定されている第1の強磁性層と、
磁化方向が可変である第2の強磁性層と、
前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に電氣的に接続された第1の非磁性層とを備え、
前記第1の強磁性層は固定層として作用し、前記第2の強磁性層は記録層として作用する磁気抵抗効果素子であって、
前記第1の強磁性層及び前記第2の強磁性層のうち少なくとも一方は、膜厚の制御によって磁化方向が膜面に対して平行方向から垂直方向になった強磁性体によって構成され、
磁気抵抗変化率が制御され、且つ、膜厚を制御することによって磁化方向が膜面に対して垂直方向を向いていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項2]

請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、
前記第1の強磁性層及び前記第2の強磁性層のうち少なくとも一方は、熱処理温度を調整し、膜厚を3 nm以下に調整することによって磁化方向が膜面に対して垂直方向に制御されていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項3]

請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、
前記第1の強磁性層及び前記第2の強磁性層は、膜厚が1.0 nmから1.6 nmであることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項4]

請求項1記載の磁気抵抗効果素子において、
前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層は熱処理を施さず非晶質であり、膜厚を調整することによって磁化方向が膜面に対して垂直方向に制御されていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項5]

請求項1～4の何れか1項記載の磁気抵抗効果素子において、
前記第1の非磁性層が酸素を含む絶縁体であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

- [請求項6] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項記載の磁気抵抗効果素子において、
前記固定層と前記記録層のうち少なくとも一方を構成する強磁性層が、3 d 遷移金属を少なくとも 1 種類含む強磁性材料で構成されていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項7] 請求項 1 ～ 6 記載の磁気抵抗効果素子において、
前記固定層と前記記録層のうち少なくとも一方は、C o, F e のうち少なくとも一つを含む強磁性材料であり、
前記固定層と前記記録層は、膜厚を 3 n m 以下に調整することによって、磁化方向が膜面に対して垂直方向に制御され、
前記第 1 の非磁性層が酸化マグネシウムであり、
磁気抵抗効変化率が少なくとも 5 0 % 以上に制御されていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項8] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項記載の磁気抵抗効果素子において、
前記固定層と前記記録層のうち少なくとも一方を構成する強磁性層が、ダンピング定数の小さい強磁性体であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項9] 請求項 8 記載の磁気抵抗効果素子において、前記ダンピング定数が小さい強磁性体はホイスラー合金であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項10] 請求項 1 ～ 9 記載の磁気抵抗効果素子において、
前記第 2 の強磁性層の、前記第 1 の非磁性層と反対側の面に第 2 の非磁性層を備え、
前記第 2 の非磁性層は前記第 2 の強磁性層の磁化方向を制御するための制御層として作用していることを特徴とする磁気抵抗効果素子。
- [請求項11] 請求項 1 ～ 1 0 記載の磁気抵抗効果素子において、
前記第 1 の強磁性層の、前記第 1 の非磁性層と反対側の面に第 3 の非磁性層を備え、
前記第 3 の非磁性層は前記第 1 の強磁性層の磁化方向を制御するた

めの制御層として作用していることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項12] 請求項1～9記載の磁気抵抗効果素子において、前記固定層の前記第1の非磁性層と反対側の面に反強磁性層が形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項13] 請求項1～9記載の磁気抵抗効果素子において、
前記記録層は、前記第1の非磁性層と接する面から順に強磁性層と非磁性層を交互に3層以上積層した積層構造を有し、
前記記録層を構成する複数の強磁性層の磁化は、磁化方向が互いに平行若しくは反平行に結合していることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項14] 請求項1～9記載の磁気抵抗効果素子において、
前記固定層は、前記第1の非磁性層と接する面から順に強磁性層と非磁性層を交互に3層以上積層した積層構造を有し、
前記固定層を構成する複数の強磁性層の磁化は、磁化方向が互いに平行若しくは反平行に結合していることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項15] 請求項13又は14記載の磁気抵抗効果素子において、前記強磁性層と交互に積層された非磁性層が酸素を含む絶縁体であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項16] 請求項13又は14記載の磁気抵抗効果素子において、前記強磁性層と交互に積層された非磁性層が酸化マグネシウムであることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項17] 請求項13又は14記載の磁気抵抗効果素子において、前記強磁性層と交互に積層された非磁性層が、Ru、Rh、Vのうち少なくとも1つを含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

[請求項18] 相互に平行に配置された複数のビット線と、前記ビット線と平行な方向に、互いに平行に配置された複数のソース線と、前記ビット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、前記ビ

ット線と前記ワード線とが交差する部分に配置された磁気抵抗効果素子とを備え、

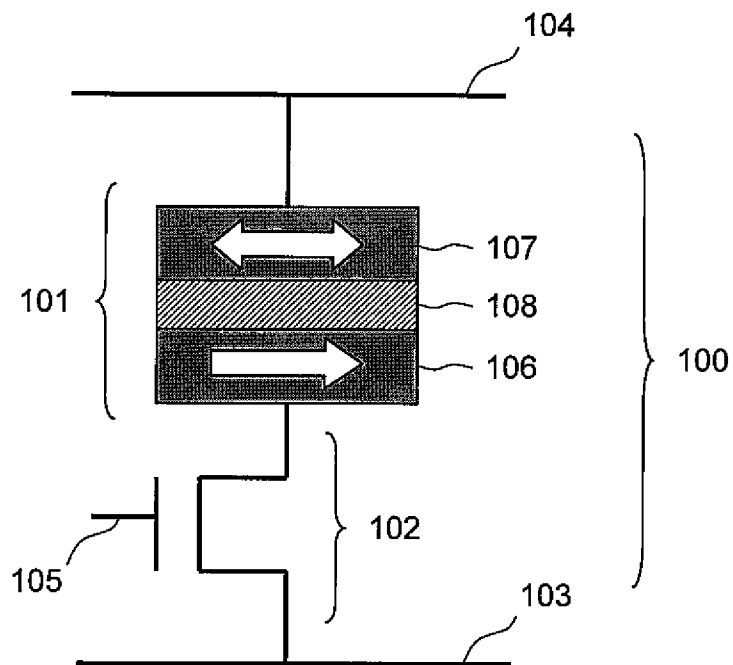
前記ビット線は前記磁気抵抗効果素子の一端に電氣的に接続され、前記磁気抵抗効果素子の他端は選択トランジスタのドレイン電極に電氣的に接続され、前記ソース線は前記選択トランジスタのソース電極に電氣的に接続され、前記ワード線は前記選択トランジスタのゲート電極に電氣的に接続され、

前記磁気抵抗効果素子の膜面垂直方向に電流を印加する機構を備えている磁気メモリにおいて、

前記磁気抵抗効果素子は請求項 1 ～ 17 のいずれか 1 項記載の磁気抵抗効果素子であることを特徴とする磁気メモリ。

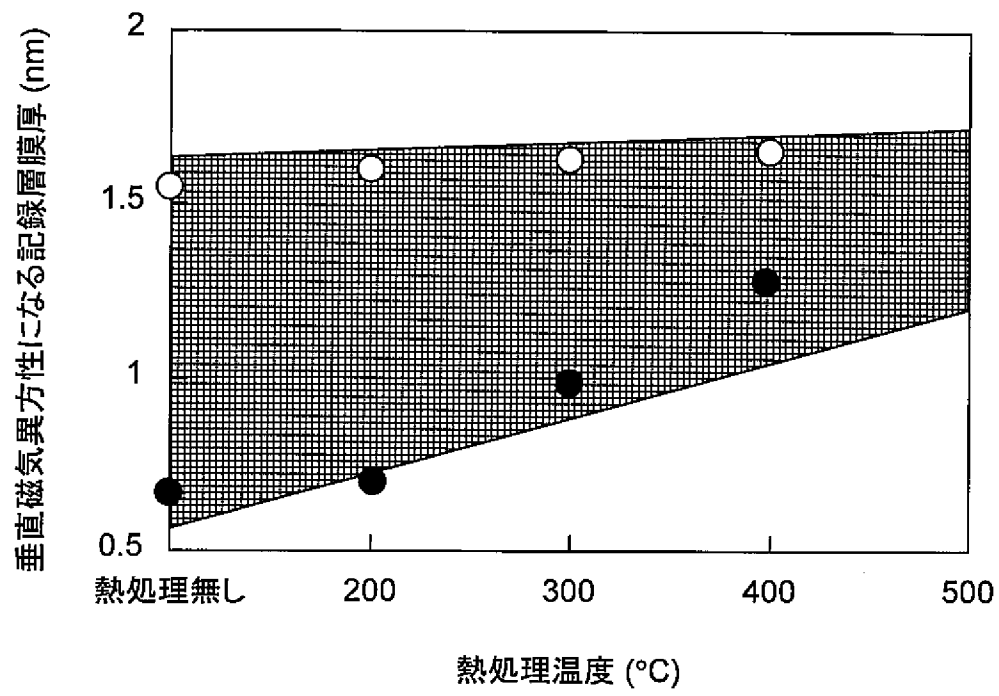
[図1]

図 1



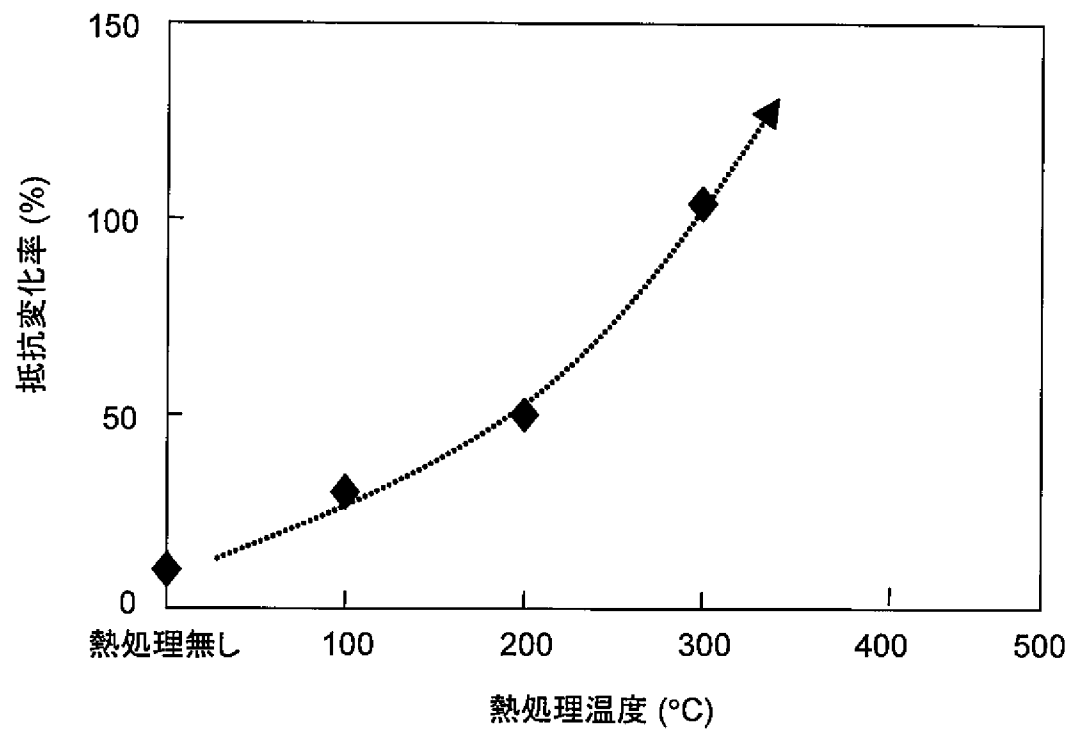
[図2]

図 2



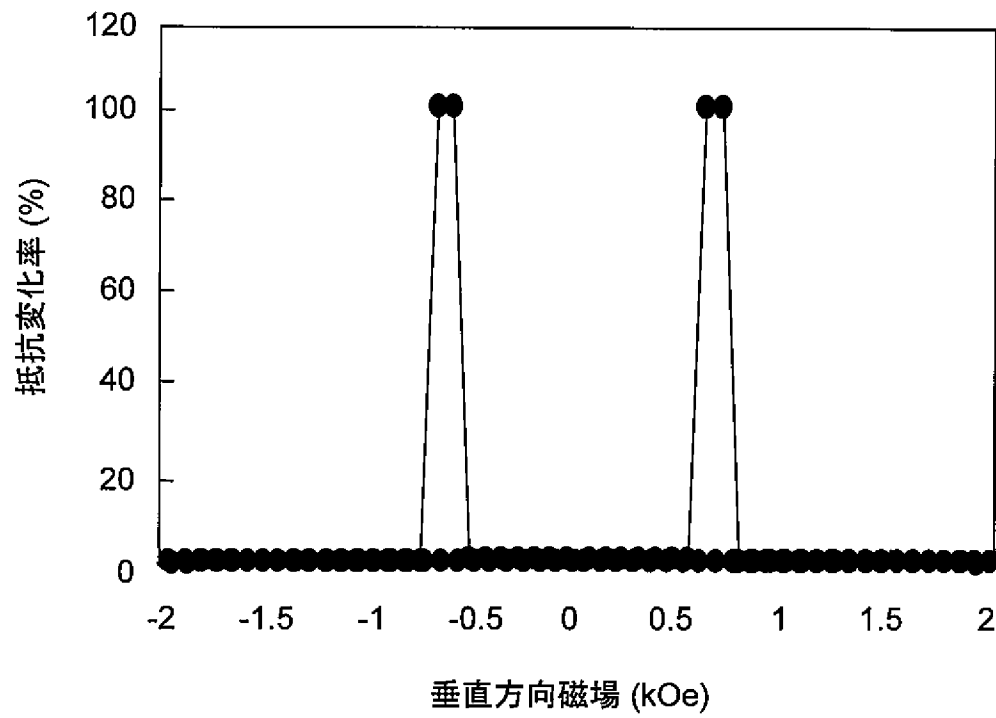
[図3]

図 3



[図4]

図 4



[図5]

図 5

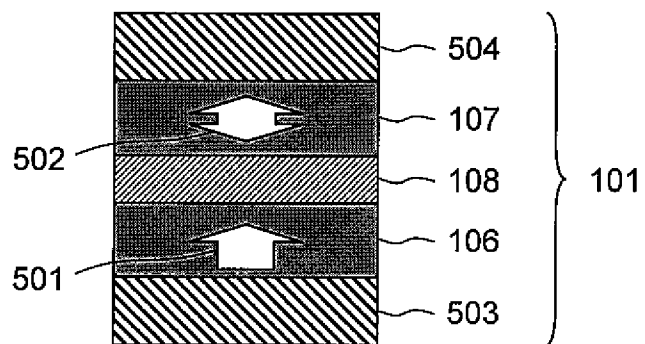
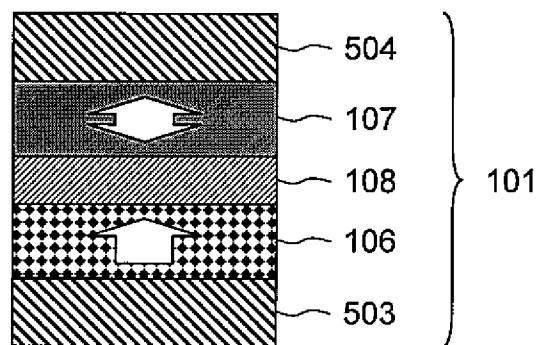
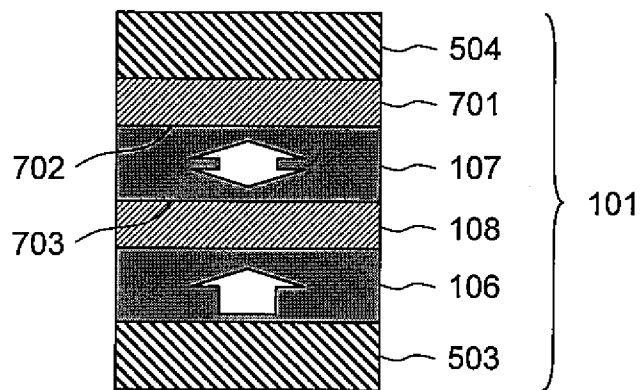


图 6



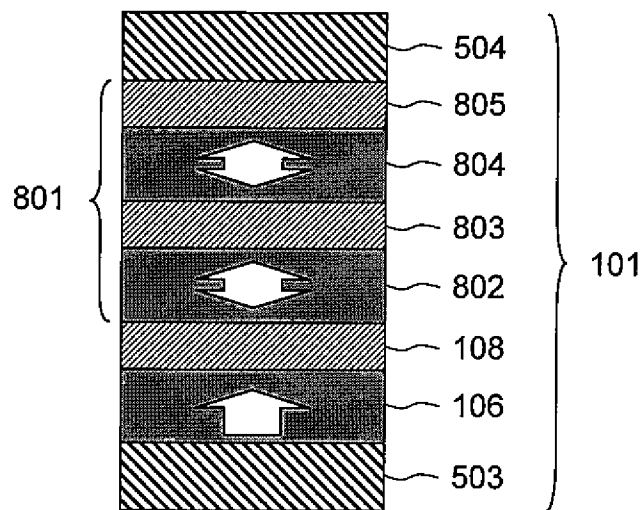
[図7]

図 7



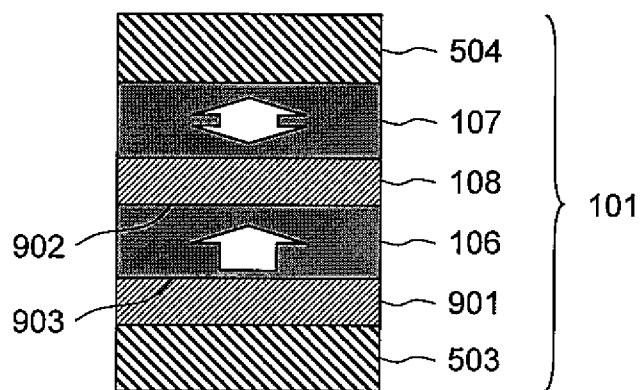
[図8]

図 8



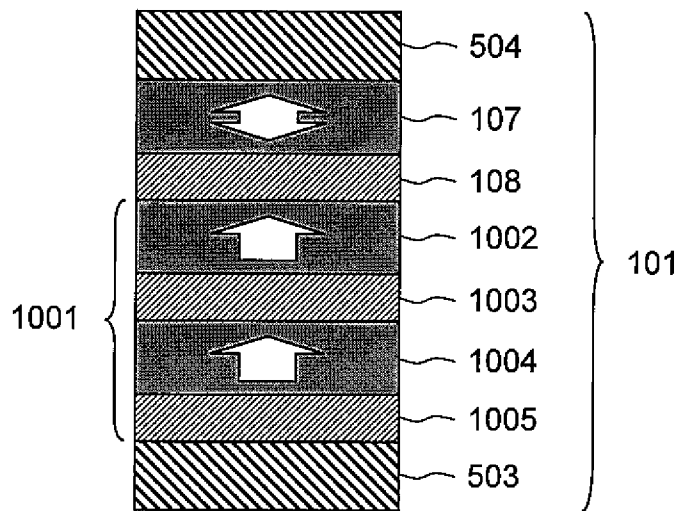
[図9]

図 9



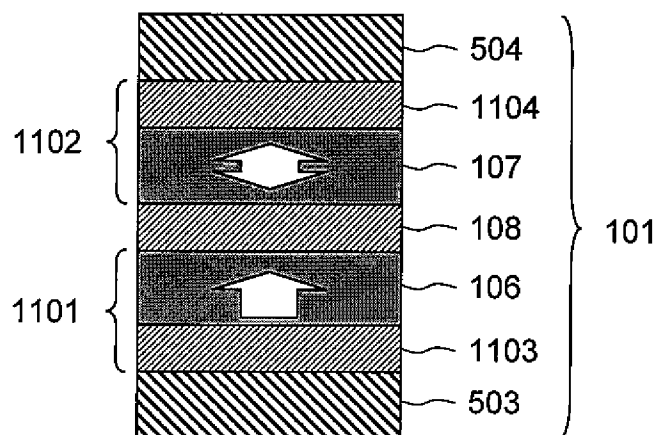
[図10]

図 1 0



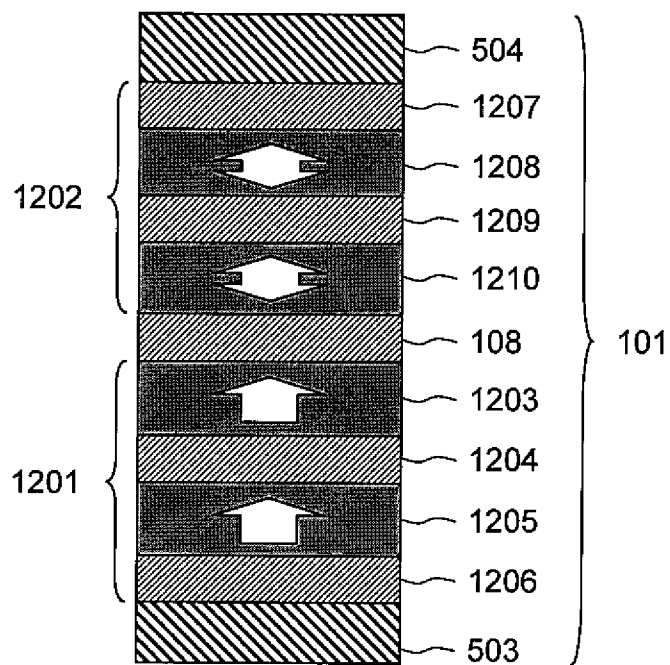
[図11]

図 1 1



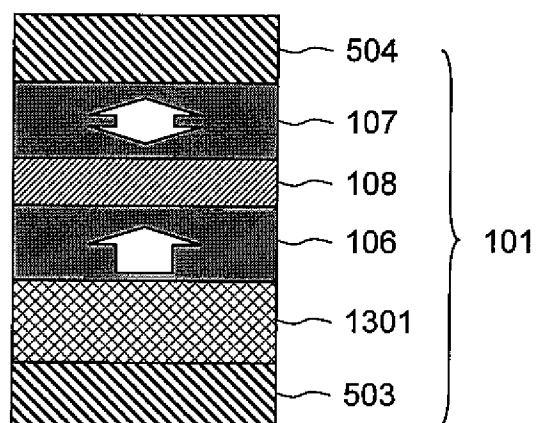
[図12]

図 1 2



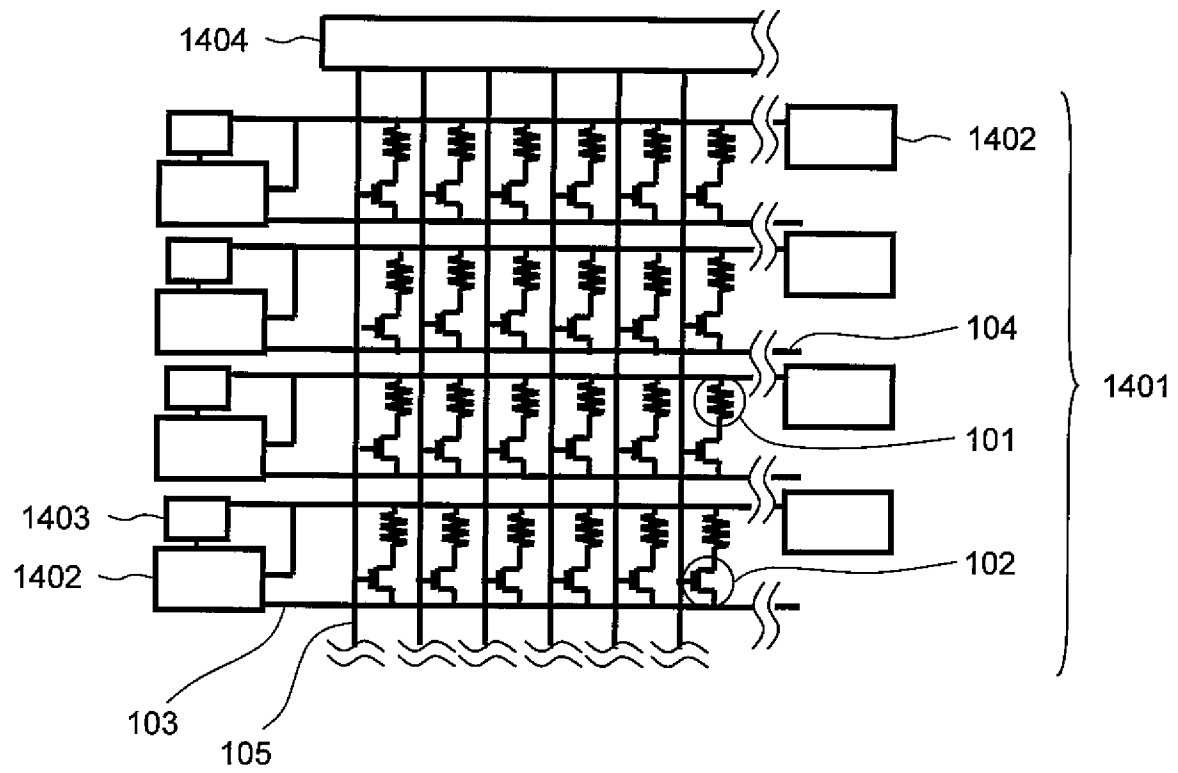
[図13]

図 1 3



[図14]

図 1 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/052999

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/8246(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, 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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2004-253739 A (Sony Corp.), 09 September 2004 (09.09.2004), paragraphs [0025] to [0068] (Family: none)	1, 6, 18 5, 7, 12, 14, 17 2-4, 8-11, 13, 15, 16
X A	JP 2009-081315 A (Toshiba Corp.), 16 April 2009 (16.04.2009), paragraphs [0013] to [0065], [0103], [0104] & US 2009/0080239 A1	1-12, 14, 17, 18 13, 15, 16
Y	JP 2007-142364 A (Toshiba Corp.), 07 June 2007 (07.06.2007), paragraphs [0062] to [0079] & US 2007/0086121 A1	5, 7, 12, 14, 17

☒ 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
15 April, 2011 (15.04.11)

Date of mailing of the international search report
26 April, 2011 (26.04.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/052999

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/133650 A1 (Osaka University), 05 November 2009 (05.11.2009), paragraphs [0037], [0044], [0051] (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, 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, 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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2004-253739 A (ソニー株式会社) 2004. 09. 09, 段落【0025】 - 【0068】 (ファミリーなし)	1, 6, 18 5, 7, 12, 14, 17 2-4, 8-11, 13, 15, 16
X A	JP 2009-081315 A (株式会社東芝) 2009. 04. 16, 段落【0013】 - 【0065】, 【0103】, 【0104】 & US 2009/0080239 A1	1-12, 14, 17, 18 13, 15, 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

1 5 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 6 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

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

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 2007-142364 A (株式会社東芝) 2007. 06. 07, 段落【0062】－【0079】 & US 2007/0086121 A1	5, 7, 12, 14, 17
A	WO 2009/133650 A1 (国立大学法人大阪大学) 2009. 11. 05, 段落 [0037], [0044], [0051] (ファミリーなし)	1-18